

# **Entwicklung und Untersuchung von Erkennungssoftware für den Einsatz im Projekt Herbar Digital**

Prof. Dr. Karl-Heinz Steinke

Wintersemester 2007/08, Sommersemester 2008:

Projektmitarbeiter: Robert Dzido, Martin Gehrke,  
Klaus Prätel

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	V
Diagrammverzeichnis .....	VII
Kurzfassung.....	X
Abstract.....	X
2 Entwicklung und Untersuchung von Erkennungs-software für den Einsatz im Projekt Herbar Digital .....	1
2.1 LinienExtraktor.....	2
2.2 Verwendete Verfahren .....	7
2.2.1 Vektoren .....	8
2.2.2 Fourierreihen .....	9
2.2.3 Chebychev-Polynome .....	11
2.2.4 Kreuzkorrelation .....	12
2.2.5 Legendre-Polynome .....	15
2.2.6 Bild-Momente.....	17
2.2.7 Normierung .....	21
2.2.8 Arten der Distanzberechnung .....	22
2.2.9 Diskrete Transformation der Zeichen .....	24
2.3 Rekonstruktion der Zeichen .....	25
2.4 Eingesetzte Entwicklungsumgebung.....	28
2.5 Die graphische Benutzeroberfläche.....	29
2.6 Ergebnisse .....	32
2.6.1 Ergebnisse Vektoren.....	33
2.6.2 Ergebnisse Fourierreihen .....	41
2.6.3 Ergebnisse Chebychev-Polynome.....	49
2.6.4 Ergebnisse Kreuzkorrelation.....	56
2.6.5 Ergebnisse Legendre-Polynome.....	58
2.6.6 Ergebnisse Bild-Momente .....	65
2.6.7 Zusammenfassung.....	72
Literaturverzeichnis .....	74

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Label mit handschriftlichen Angaben .....	1
Abb. 2: Handschriftenprobe mit extrahierter Schreiblinie .....	2
Abb. 3: Benutzeroberfläche LinienExtraktor .....	3
Abb. 4: Vergleich originales und eingelesenes W .....	3
Abb. 5: Einleserichtungen der Zeichen.....	4
Abb. 6: Schriftprobe 1      Schriftprobe 2 .....	5
Abb. 7: Schriftprobe 3      Schriftprobe 4 .....	5
Abb. 8: Schriftprobe 5      Schriftprobe 6 .....	6
Abb. 9: Schriftprobe 7      Schriftprobe 8 .....	6
Abb. 10: Schriftprobe 9      Schriftprobe 10 .....	7
Abb. 11: Winkel-Code .....	8
Abb. 12: Original eingelesenes C und Nachbildung durch 4 Vektoren .....	9
Abb. 13: Original-Darstellung      Fourier-Rücktransformation .....	10
Abb. 14 Chebychev-Polynome 0. bis 4. Ordnung.....	11
Abb. 15: Subsampling 32 Punkte .....	13
Abb. 16: Zerteilung eines C's in Bereiche .....	14
Abb. 17: Zu vergleichendes Zeichen      Ähnlichstes Zeichen      Differenzen .....	15
Abb. 18: Legendre-Polynome bis zum 6. Grad [5].....	16
Abb. 19: Original Zeichen      Rücktransformiertes Zeichen.....	17
Abb. 20: Bsp. Hauptachse.....	20
Abb. 21: Beispiel 1 Exzentrizität      Beispiel 2 Exzentrizität .....	20
Abb. 22: Beispiel City-Block- und Euklidische-Distanz .....	22
Abb. 23: x,y-Diagramm eines eingelesenen Z.....	24
Abb. 24: x,t-Diagramm des eingelesenen Z .....	25
Abb. 25: y,t-Diagramm des eingelesenen Z .....	25
Abb. 26: Rekonstruktion aus Vektoren .....	26
Abb. 27: Rekonstruktion aus Fourier-Koeffizienten .....	26
Abb. 28: Rekonstruktion aus den Punkten subgesamelter Buchstaben .....	27
Abb. 29: Rekonstruktion aus Legendre-Koeffizienten .....	27
Abb. 30: Integrierte Entwicklungsumgebung Visual Studio© 2005 Professional .....	28

Abb. 31: Haltepunkte beim Debuggen.....	29
Abb. 32: Graphische Benutzeroberfläche.....	31
Abb. 33: Vereinfachtes Klassendiagramm .....	32

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse Vektorvergleich City-Block 180 Zeichen .....	33
Tabelle 2: Ergebnisse Vektorvergleich Euklid 180 Zeichen.....	33
Tabelle 3: Ergebnisse Vektorvergleich Mahalanobis 180 Zeichen .....	34
Tabelle 4: Ergebnisse Vektorvergleich City-Block 600 Zeichen .....	37
Tabelle 5: Ergebnisse Vektorvergleich Euklid 600 Zeichen.....	38
Tabelle 6: Ergebnisse Vektorvergleich Mahalanobis 600 Zeichen .....	39
Tabelle 7: Ergebnisse Fourier.-Vergleich City-Block 180 Zeichen.....	42
Tabelle 8: Ergebnisse Fourier-Vergleich Euklid 180 Zeichen .....	42
Tabelle 9: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen .....	43
Tabelle 10: Ergebnisse Fourier-Vergleich City-Block 180 Zeichen norm. ....	44
Tabelle 11: Ergebnisse Fourier-Vergleich Euklid 180 Zeichen norm.....	45
Tabelle 12: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen norm. ....	45
Tabelle 13: Ergebnisse Fourier-Vergleich City-Block 600 Zeichen.....	46
Tabelle 14: Ergebnisse Fourier-Vergleich mit Euklid 600 Zeichen .....	46
Tabelle 15: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen .....	46
Tabelle 16: Ergebnisse Fourier-Vergleich City-Block 600 Zeichen norm. ....	47
Tabelle 17: Ergebnisse Fourier-Vergleich Euklid 600 Zeichen norm.....	47
Tabelle 18: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen norm. ....	48
Tabelle 19: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 180 Zeichen .....	50
Tabelle 20: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 180 Zeichen .....	51
Tabelle 21: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen .....	51
Tabelle 22: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 180 Zeichen norm... 52	
Tabelle 23: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 180 Zeichen norm. ....	52
Tabelle 24: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen norm. .....	53
Tabelle 25: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 600 Zeichen .....	54
Tabelle 26: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 600 Zeichen .....	54
Tabelle 27: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen .....	54
Tabelle 28: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 600 Zeichen norm... 55	
Tabelle 29: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 600 Zeichen norm. ....	55

Tabelle 30: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen norm. .....	55
Tabelle 31: Ergebnisse Kreuzkorrelation 180 Zeichen .....	56
Tabelle 32: Ergebnisse Kreuzkorrelation 180 Zeichen norm.....	57
Tabelle 33: Ergebnisse Kreuzkorrelation 600 Zeichen .....	57
Tabelle 34: Ergebnisse Kreuzkorrelation 600 Zeichen norm.....	57
Tabelle 35: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 180 Zeichen.....	59
Tabelle 36: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 180 Zeichen .....	59
Tabelle 37: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen.....	59
Tabelle 38: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 180 Zeichen norm.....	61
Tabelle 39: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 180 Zeichen norm.....	61
Tabelle 40: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen norm.	62
Tabelle 41: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 600 Zeichen.....	63
Tabelle 42: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 600 Zeichen .....	63
Tabelle 43: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen.....	63
Tabelle 44: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 600 Zeichen norm.....	64
Tabelle 45: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 600 Zeichen norm.....	64
Tabelle 46: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen norm.	64
Tabelle 47: Ergebnisse diskrete geom. Momente Vergleich 180 Zeichen.....	66
Tabelle 48: Ergebnisse diskrete norm. Momente Vergleich 180 Zeichen.....	66
Tabelle 49: Ergebnisse normierte zentrale Momente Vergleich 180 Zeichen ..	67
Tabelle 50: Ergebnisse Formmerkmale Vergleich 180 Zeichen .....	68
Tabelle 51: Ergebnisse diskrete geom. Momente Vergleich 600 Zeichen.....	70
Tabelle 52: Ergebnisse diskrete norm. Momente Vergleich 600 Zeichen.....	70
Tabelle 53: Ergebnisse normierte zentrale Momente Vergleich 600 Zeichen ..	71
Tabelle 54: Ergebnisse Formmerkmale Vergleich 600 Zeichen .....	71

# Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Erkennungsraten City-Block-Distanz bei 180 Buchstaben	34
Diagramm 2: Erkennungsraten Euklidische-Distanz bei 180 Buchstaben	35
Diagramm 3: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz bei 180 Buchstaben	35
Diagramm 4: Abhängigkeit der Zeichenerkennungsraten von der Distanzart bei 180 Buchstaben	36
Diagramm 5: Abhängigkeit der Zeichen+Schreiber-Erkennungsraten von der Distanzart bei 180 B.	36
Diagramm 6: Erkennungsraten City-Block-Distanz bei 600 Buchstaben	37
Diagramm 7: Erkennungsraten Euklidische-Distanz bei 600 Buchstaben	38
Diagramm 8: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz bei 600 Buchstaben	39
Diagramm 9: Abhängigkeit der Zeichenerkennungsrate von der Distanzart bei 600 Buchstaben	40
Diagramm 10: Abhängigkeit der Zeichen+Schreiber-Erkennungsrate von der Distanzart bei 600 B.	40
Diagramm 11: Vergleich der Erkennungsraten 180/600 Zeichen bei 16 Vektoren	41
Diagramm 12: Erkennungsraten City-Block-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung	43
Diagramm 13: Erkennungsraten Euklidische-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung	43
Diagramm 14: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung	44
Diagramm 15: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert/unnormiert	45
Diagramm 16: Vergleich Ergebnisse 64 Koeff. unnormiert 180/600 Buchstaben	47
Diagramm 17: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert/unnormiert	48
Diagramm 18: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert 180/600 Buchstaben	49

Diagramm 19: Erkennungsraten City-Block-Distanz	180	Zeichen ohne Normierung	50
Diagramm 20: Erkennungsraten Euklidische-Distanz	180	Zeichen ohne Normierung	51
Diagramm 21: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz	180	Zeichen ohne Normierung	52
Diagramm 22: Gegenüberstellung Ergebnisse normiert/unnormiert	64	Koeffizienten	53
Diagramm 23: Vergleich Ergebnisse Buchstaben	64	Chebychev-Koeff. unnormiert 180/600	54
Diagramm 24: Gegenüberstellung Ergebnisse normiert/unnormiert	8	Chebychev-Koeffizienten	56
Diagramm 25: Abhängigkeit der Erkennungsraten normiert/unnormiert	180/600	Zeichen	58
Diagramm 26: Erkennungsraten City-Block-Distanz	180	Zeichen ohne Normierung	60
Diagramm 27: Erkennungsraten Euklidische-Distanz	180	Zeichen ohne Normierung	60
Diagramm 28: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz	180	Zeichen ohne Normierung	61
Diagramm 29: Gegenüberstellung Ergebnisse normiert/unnormiert	64	Koeffizienten	62
Diagramm 30: Vergleich Ergebnisse Buchstaben	64	Legendre-Koeff. unnormiert 180/600	63
Diagramm 31: Gegenüberstellung Ergebnisse normiert/unnormiert	64	Legendre-Koeffizienten	65
Diagramm 32: Ergebnisse disk. geom. Momente	180	Buchstaben	66
Diagramm 33: Ergebnisse disk. norm. Momente	180	Buchstaben	67
Diagramm 34: Ergebnisse norm. zentr. Momente	180	Buchstaben	68
Diagramm 35: Ergebnisse der Momentarten und Formmerkmale mit City-Block-Distanz			69
Diagramm 36: Ergebnisse der Momentarten und Formmerkmale mit Mahalanobis-Distanz			69



Diagramm 37: Vergleich Ergebnisse disk. geo. Momente / geo. Formmerkmale bei 180 Zeichen	70
Diagramm 38: Vergleich Ergebnisse Zeichen+Schreiber 180/600 Buchstaben	71
Diagramm 39: Übersicht der besten Ergebnisse bei 180 Zeichen, skalierungsinvariant	72
Diagramm 40: Übersicht der besten Ergebnisse bei 600 Zeichen, skalierungsinvariant	73

## **Kurzfassung**

Kommerzielle OCR-Programme sind nicht in der Lage kursiv geschriebene Handschriften zu lesen. Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit ein Verfahren entwickelt, um kursive handgeschriebene Buchstaben zu erkennen und darüber hinaus auch deren Schreiber zu bestimmen. Dazu muss der statische Buchstabe in eine dynamische Form gebracht werden. Dies geschieht mit dem Modell einer trägen Kugel, die durch den Schriftzug rollt. Über den Schreiber kann evtl. der Name des Entdeckers einer Pflanze bestimmt werden. Bei dieser Offline-Schreibererkennung werden verschiedene Verfahren wie die Nachbildung der Schreiblinie einzelner Buchstaben durch z.B. Legendre-Polynome verwendet. Bei Verwendung nur eines Buchstabens der Schreiber wird eine Erkennungsrate von bis zu 80% erreicht.

## **Abstract**

Commercial OCR-programs are not able to read cursively written handwriting. Therefore in the available work a procedure was developed in order to recognize cursive hand written letters and beyond that to determine also their writer. For that the static letter must be brought into a dynamic form. This happens with the model of a inert ball which rolls through the writing. By finding out the writer possibly the name of the discoverer of a plant can be determined. For this off-line writer recognition different procedures are used such as the reproduction of the writing line of individual letters e.g. by Legendre-polynomials. Using only one letter of the writers a recognition rate of nearly 80% can be achieved.

## 2 Entwicklung und Untersuchung von Erkennungssoftware für den Einsatz im Projekt Herbar Digital

Auf einem Herbariumsblatt sind Fundort (möglichst GPS-Koordinaten), Funddatum, Sammler und meistens der wissenschaftliche Name der Pflanze angegeben. Unter den ca. 3,5 Millionen Pflanzenbelegen in Berlin gibt es jedoch viele, bei denen der Sammler der Pflanze unbekannt ist, weil ein entsprechender Vermerk auf dem Herbarbogen fehlt. Ein Beispiel für ein Label mit handschriftlichen Angaben ist in Abbildung (Abb.) 1 dargestellt.

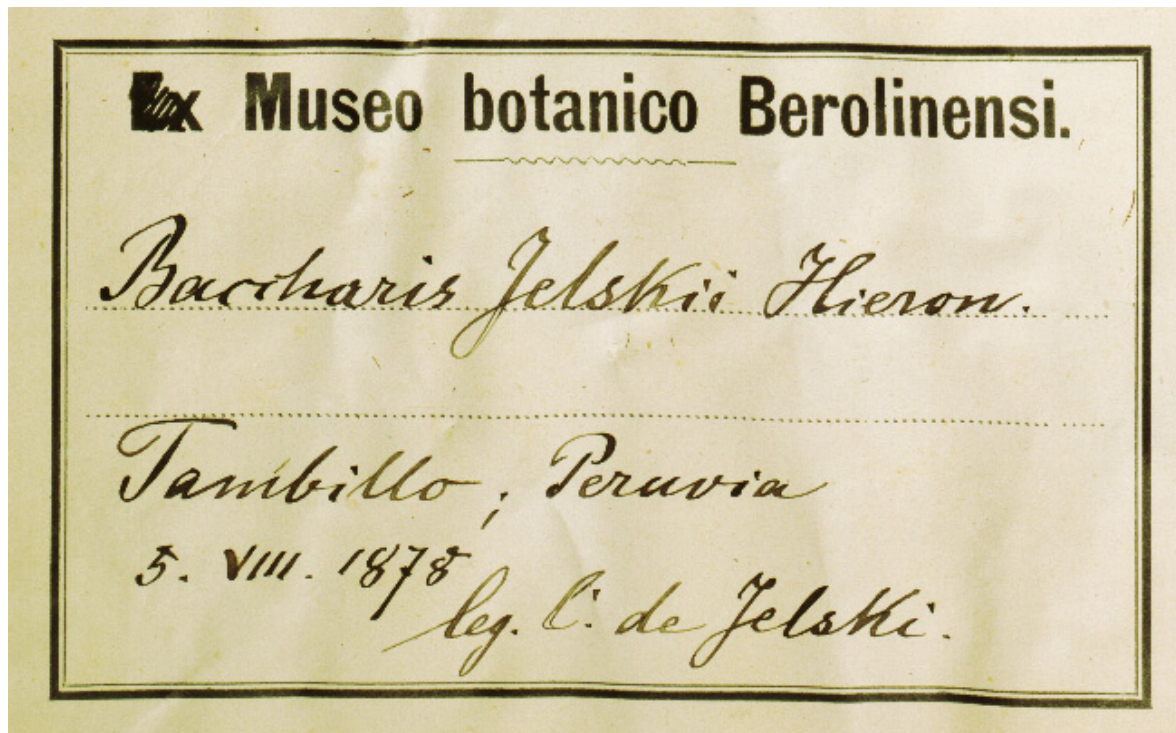


Abb. 1: Label mit handschriftlichen Angaben

Die Zuordnung dieser Belege soll über die Analyse der darauf enthaltenen Handschriften erfolgen. Um dies zu ermöglichen, wurde eine Software entwickelt, die Handschrift in dynamische Koordinatenfolgen überführt und in einer Datenbank speichert. Durch die Weiterverarbeitung dieser x- und y-Koordinaten mit verschiedenen Algorithmen werden Merkmale aus Einzelbuchstaben gewonnen, über die es sich auf den ursprünglichen Schreiber schließen lässt.

## 2.1 LinienExtraktor

Handheld-PCs lesen die Handschrift in Echtzeit ein. Die Frage ist, wie man die Schreiblinie aus alten Dokumenten zurückgewinnen kann, deren Schreiber nicht mehr present sind.

Als Modell dient folgende Vorstellung: Die Schrift ist als Rille in Sand geschrieben, und man lässt eine Kugel durch die Rille laufen, deren Schwerpunkt die Schreiblinie zurückgewinnt.

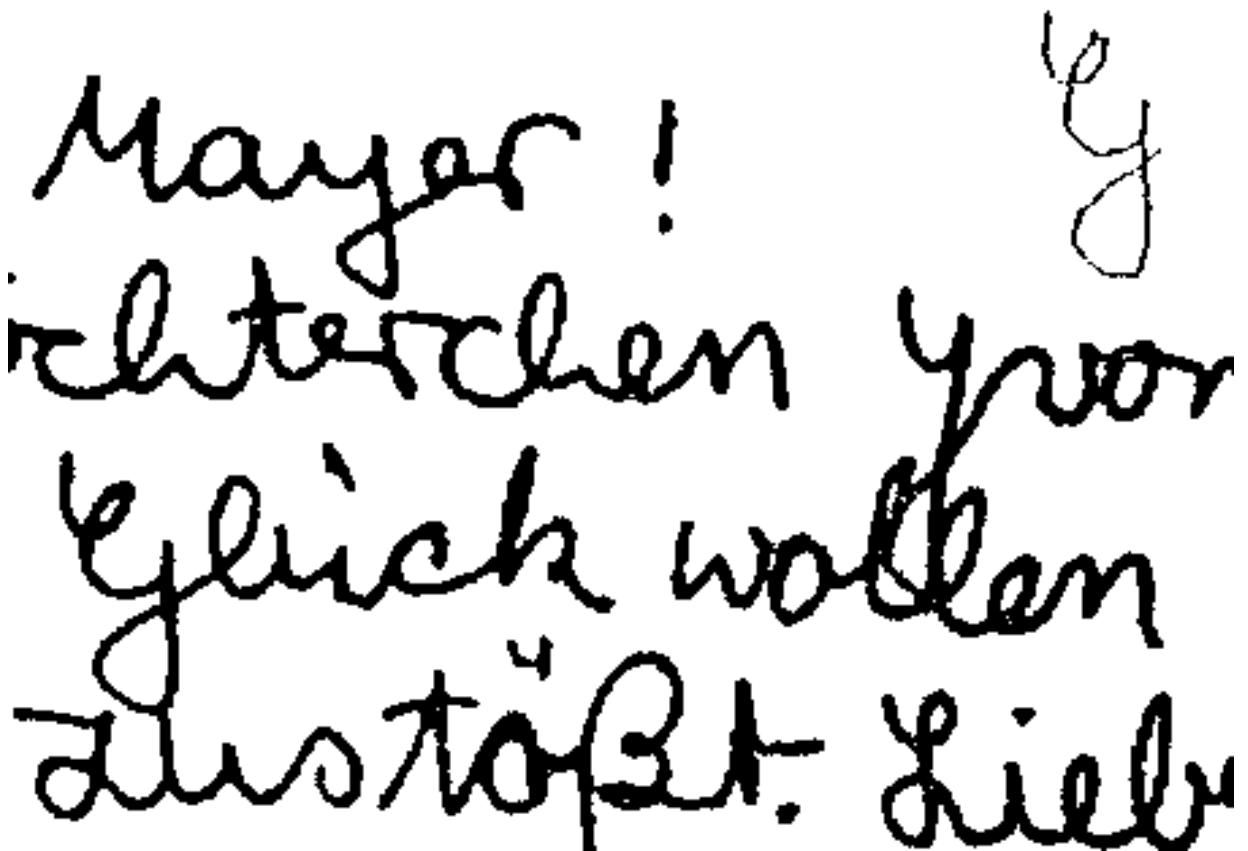
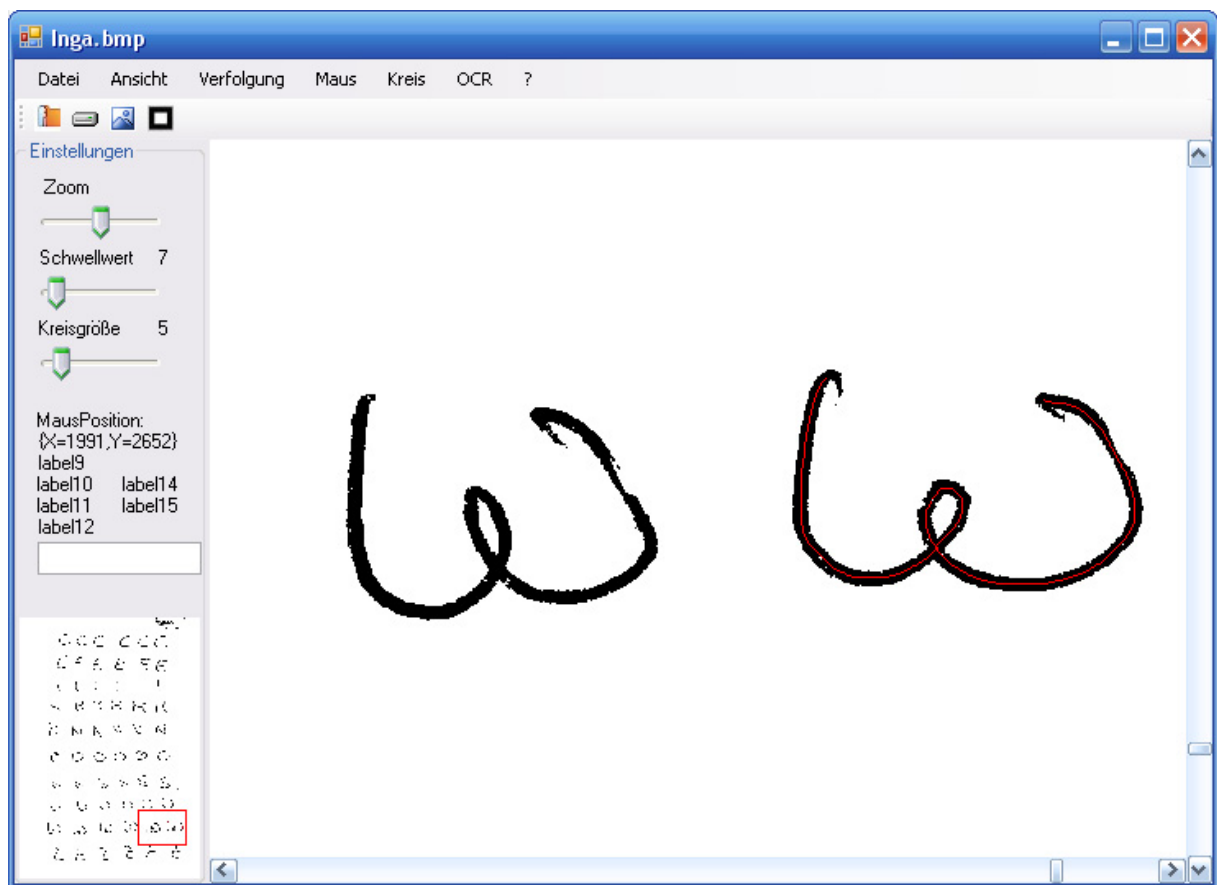


Abb. 2: Handschriftenprobe mit extrahierter Schreiblinie

Mit dem Programm LinienExtraktor (Abb. 3) lassen sich so Linienvverläufe, die als digitalisiertes Bild vorliegen, in dynamische Koordinatenfolgen überführen. Zum Starten des Einlesevorganges wird mit der Maus auf den Anfang des Zeichens geklickt und die Kugel läuft von dort aus die Schreiblinie entlang, um die Koordinaten zu ermitteln. Es wurden 600 Handschriftproben von 10

Personen eingelesen, um eine Aussage über die Erkennungsqualität unterschiedlicher Verfahrensweisen zu erhalten.



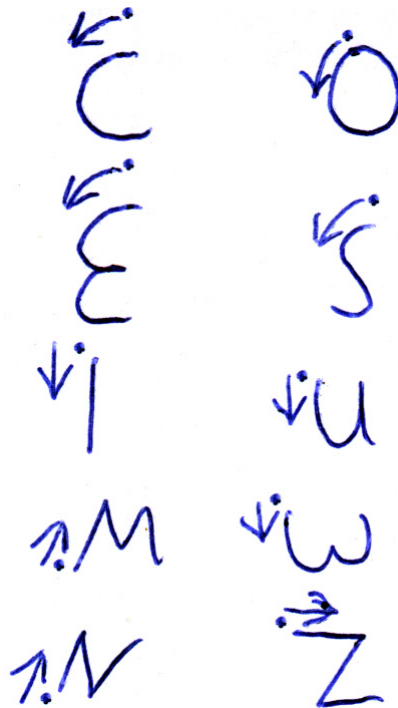
**Abb. 3: Benutzeroberfläche LinienExtraktor**

Diese Koordinatenfolgen werden in einer Datei gespeichert und können somit in anderen Programmen weiterverwendet werden. In Abb. 4 werden zum Vergleich ein W aus einer Schriftprobe und die aus den Koordinatenfolgen gezeichnete Schreiblinie gezeigt.



**Abb. 4: Vergleich originales und eingelesenes W**

Bei der Aufnahme wurden alle Zeichen eines Typs in identischer Richtung durchlaufen. In Abb. 5 sind die Buchstaben mit markiertem Startpunkt und Einleserichtung dargestellt.



**Abb. 5: Einleserichtungen der Zeichen**

Für den Vergleich der hier vorgestellten Methoden werden die Schriftproben von maximal 10 Schreibern verwendet. Jede dieser Proben besteht aus 60 Buchstaben, wobei 10 unterschiedliche Buchstaben vorkommen. Jeder Buchstabentyp von einem Schreiber ist 6 Mal vorhanden. Die 10 Schriftproben sind in den Abb. 6 bis 10 dargestellt.

C C C C C C  
 E E E E E E  
 J J J J J J  
 M M M M M M  
 N N N N N N  
 O O O O O O  
 S S S S S S  
 U U U U U U  
 W W W W W W  
 Z Z Z Z Z Z

Abb. 6: Schriftprobe 1

C C C C C C  
 E E E E E E  
 I I I I I I  
 M M M M M M  
 N N N N N N  
 O O O O O O  
 S S S S S S  
 U U U U U U  
 W W W W W W  
 Z Z Z Z Z Z

Schriftprobe 2

C C C C C C  
 E E E E E E  
 J J J J J J  
 M M M M M M  
 N N N N N N  
 O O O O O O  
 S S S S S S  
 U U U U U U  
 W W W W W W  
 Z Z Z Z Z Z

Abb. 7: Schriftprobe 3

C C C C C C  
 E E E E E E  
 I I I I I I  
 M M M M M M  
 N N N N N N  
 S S S S S S  
 U U U U U U  
 W W W W W W  
 Z Z Z Z Z Z  
 O O O O O O

Schriftprobe 4

C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
O	O	O	O	O	O	S	S	S	S	S	S
S	S	S	S	S	S	U	U	U	U	U	U
U	U	U	U	U	U	W	W	W	W	W	W
W	W	W	W	W	W	Z	Z	Z	Z	Z	Z
Z	Z	Z	Z	Z	Z	O	O	O	O	O	O

Abb. 8: Schriftprobe 5

Schriftprobe 6

C C C C C C  
 E E E E E E  
 I I I I I I  
 M M M M M M  
 N N N N N N  
 O O O O O O  
 S S S S S S  
 U U U U U U  
 W W W W W W  
 Z Z Z Z Z Z

Abb. 9: Schriftprobe 7

C C C C C C  
 E E E E E E  
 I I I I I I  
 M M M M M M  
 N N N N N N  
 O O O O O O  
 S S S S S S  
 U U U U U U  
 W W W W W W  
 Z Z Z Z Z Z

Schriftprobe 8





**Abb. 10: Schriftprobe 9**

**Schriftprobe 10**

## 2.2 Verwendete Verfahren

Um die Zeichen miteinander vergleichen und den Schreibern zuordnen zu können, werden die nachfolgenden Verfahren eingesetzt:

- Nachbildung der Zeichen durch Vektoren
- Annäherung der Zeichen durch Fourierreihen
- Annäherung der Zeichen durch Chebychev-Polynome
- Vergleich der Zeichen durch Kreuzkorrelation
- Annäherung der Zeichen durch Legendre-Polynome
- Vergleich durch Bild-Momente

## 2.2.1 Vektoren

Beim Vektorvergleich werden die Zeichen durch die Aneinanderreihung von Vektoren nachgebildet. Die Koordinatenfolgen der einzelnen Zeichen werden in Winkel gewandelt, diese der jeweiligen Vektorlänge entsprechend aufaddiert und daraus die mittleren Winkel für die Vektoren berechnet. Diese Winkel können dann mit denen der anderen vorhandenen Zeichen verglichen werden. Die dabei erhaltenen Differenzen geben Auskunft über die Ähnlichkeit der Buchstaben.

Die Bestimmung der Winkel erfolgt nach einem System ähnlich dem des Freeman-Codes. Dabei werden die Pixel vom Startpunkt ausgehend durchlaufen und dem jeweils nachfolgenden Punkt wird ein Winkel, der seiner Position entspricht, zugeordnet. In Abb. 11 ist das Schema der Codierung dargestellt.

135	90	45
180		0
225	270	315

Abb. 11: Winkel-Code

Nach diesem Schritt werden die Längen der Vektoren berechnet, indem die Anzahl der vorhandenen Winkel eines Zeichens durch die gewünschte Vektor-Anzahl dividiert wird. Aufgrund der Tatsache, dass die Vektoren immer ganze Pixel besitzen müssen, ist danach meistens eine Korrektur der Länge notwendig. Dabei werden die Vektoren um einen Punkt länger gewählt und Pixel, die fehlen, werden doppelt verwendet. Das heißt also, dass die Endpunkte bei den ersten Vektoren gleichzeitig die Anfangspunkte des nächsten sind. Anschließend werden die Summen der entsprechenden Winkel gebildet und die Mittelwerte daraus berechnet. Probleme bei der Umsetzung dieses Systems entstehen durch das Überschreiten des Nullpunktes. Wenn

zum Beispiel für eine Folge zweier Pixel ein 315 Grad-Winkel ermittelt wird und der Winkel zum nächsten Punkt hat 45 Grad, so erhält man beim Aufsummieren 360 Grad.

Der Mittelwert würde 180 Grad ergeben, müsste aber korrekt gerechnet 0 Grad sein. Um diese Fehler zu beheben, werden bei Übertreten des Nullpunktes 360 Grad von der Winkelsumme abgezogen und man erhält dadurch den richtigen mittleren Winkel des Vektors.

Zur Veranschaulichung sind in der Abb. 12 ein C und dessen Nachbildung durch 4 Vektoren dargestellt. Bei dem original eingelesenen C sind die Bereiche, deren Punkte zu einem Vektor zusammengefasst werden, farblich voneinander getrennt. Die entsprechenden Vektoren sind in der Nachbildung jeweils in derselben Farbe markiert.

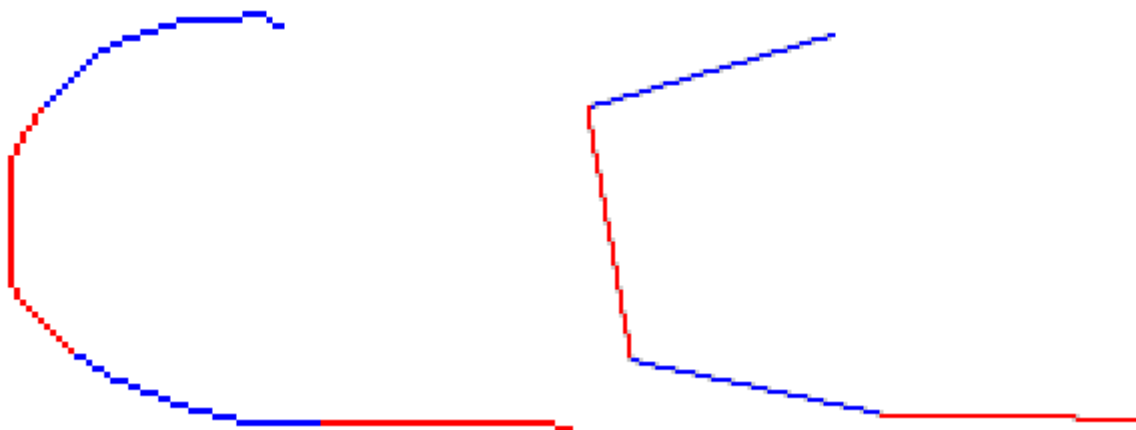


Abb. 12: Original eingelesenes C und Nachbildung durch 4 Vektoren

## 2.2.2 Fourierreihen

Durch eine Fourierreihe lässt sich eine periodische Funktion als eine Reihe von Sinus- und Kosinus-Funktionen darstellen, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz  $\omega=2\pi/T$  sind.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos(n\omega t) + b_n \cdot \sin(n\omega t)) \quad (2.1)$$

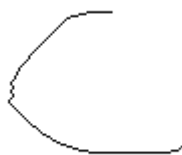
Die Fourierkoeffizienten  $a_n$  und  $b_n$  berechnen sich über folgende Euler'schen Formeln:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_c^{c+T} f(t) \cos(n\omega t) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_c^{c+T} f(t) \sin(n\omega t) dt \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.2)$$

Dabei stellt  $c$  eine Verschiebung des Intervalls dar und kann beliebig gewählt werden. Es werden bei dieser Vergleichs-Methode maximal 64 Fourier-Koeffizienten berechnet, also wird  $f(t)$  durch ein endliches trigonometrisches Polynom  $f_n(t)$  approximiert.

$$f_n(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cdot \cos(k\omega t) + b_k \cdot \sin(k\omega t)) \quad (2.3)$$

Aus den eingelesenen Koordinaten der Zeichen werden die Fourier-Koeffizienten berechnet und dann miteinander verglichen. Durch die Koeffizienten lassen sich die Verläufe der Zeichen zurücktransformieren. In Abb. 13 sind ein C als Original und als Annäherung durch 64 Koeffizienten dargestellt.



**Abb. 13: Original-Darstellung**



**Fourier-Rücktransformation**

## 2.2.3 Chebychev-Polynome

Funktionen lassen sich durch die Verwendung von Chebychev-Polynomen der ersten Art mit einer sehr hohen Genauigkeit annähern. Die Polynome werden über folgende Formel berechnet:

$$T_n(x) = \cos(n \cdot \arccos(x)), x \in [-1,1] \quad (2.4)$$

Ein Polynom  $T_n(x)$  hat im Intervall  $[-1,1]$  genau  $n$  Nullstellen und  $n+1$  Extremstellen. In Abb. 14 sind die Chebychev-Polynome bis zur 4. Ordnung dargestellt.

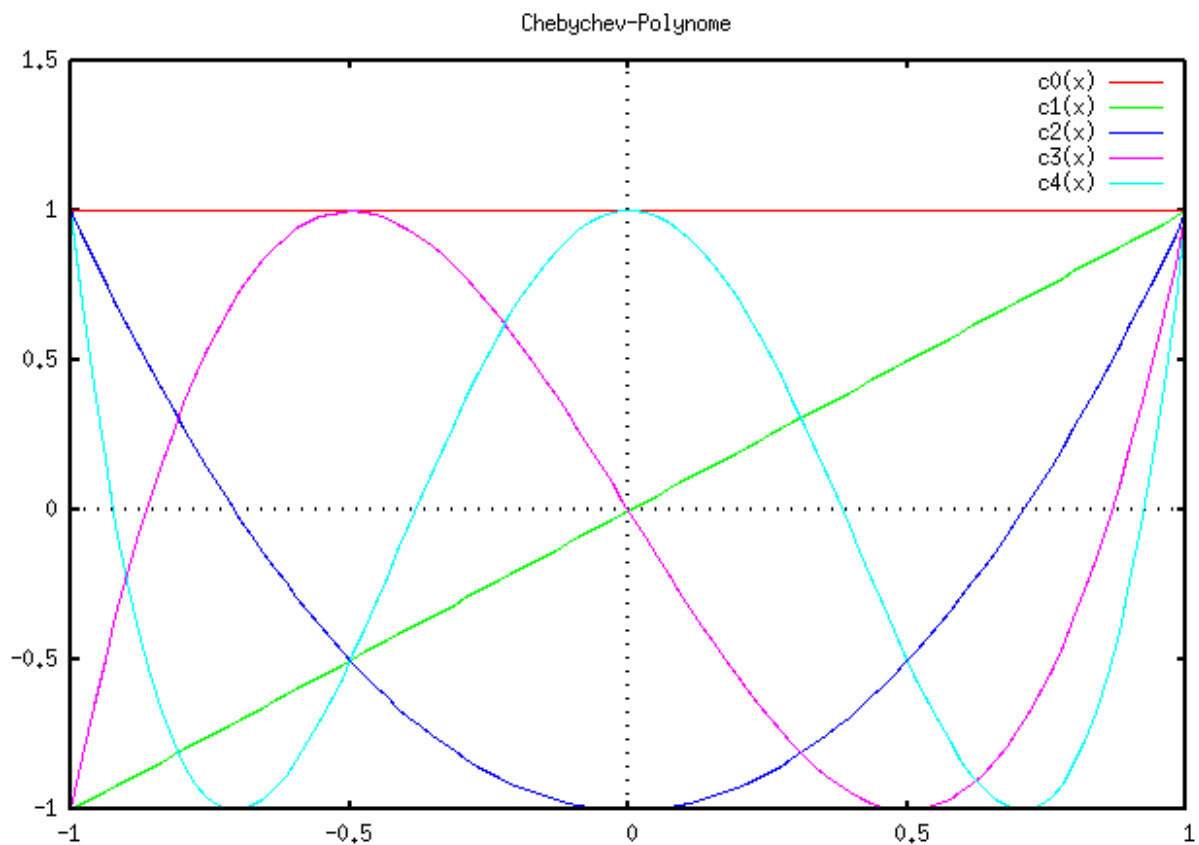


Abb. 14 Chebychev-Polynome 0. bis 4. Ordnung

Die ersten 10 Polynome der 1. Art sehen wie folgt aus:

$$T_0(x) = 1$$

$$T_1(x) = x$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1$$

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x$$

$$T_4(x) = 8x^4 - 8x^2 + 1$$

$$T_5(x) = 16x^5 - 20x^3 + 5x$$

$$T_6(x) = 32x^6 - 48x^4 + 18x^2 - 1$$

$$T_7(x) = 64x^7 - 112x^5 + 56x^3 - 7x$$

$$T_8(x) = 128x^8 - 256x^6 + 106x^4 - 32x^2 + 1$$

$$T_9(x) = 256x^9 - 576x^7 + 432x^5 - 120x^3 + 9x$$

Um die in dieser Anwendung benötigten Chebychev-Koeffizienten zu bekommen, ist es notwendig den Schriftverlauf der Zeichen durch folgenden Ausdruck anzunähern:

$$f(x) \approx \sum_{k=0}^{N-1} c_k T_k(x) - \frac{1}{2} c_0 \quad N = \text{Anzahl Koeffizienten} \quad (2.5)$$

Die darin enthaltenen Koeffizienten sind definiert durch:

$$c_j = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N f \left[ \cos \left\{ \frac{\pi(k - \frac{1}{2})}{N} \right\} \right] \cos \left\{ \frac{\pi j(k - \frac{1}{2})}{N} \right\} \quad j=0,1,2...N-1 \quad (2.6)$$

Anhand der bei dem Vergleich der Koeffizienten berechneten Differenzen lassen sich nun die ähnlichsten Zeichen bestimmen.

## 2.2.4 Kreuzkorrelation

Bei dieser Methode wird die Punktzahl der Zeichen durch ein Subsampling-Verfahren verringert. Dabei wird zuerst die Schrittweite berechnet, mit der aus dem aktuellen Buchstaben die Pixel ausgewählt werden. Dies geschieht durch eine Division der Pixel-Anzahl des Zeichens durch die gewünschte Punkt-Anzahl-1, auf die der Buchstabe reduziert werden soll. Anschließend werden die Zeichen mit den berechneten Schritten nachgefahren und die entsprechenden Pixel-Koordinaten in das Feld für die reduzierten Buchstaben

kopiert. Ein Beispiel mit einem auf 32 Punkten reduzierten C ist in Abb. 15 dargestellt.



**Abb. 15: Subsampling 32 Punkte**

Danach wird für jeden Buchstaben der Mittelwert der Ausdehnung in x- und y-Richtung kalkuliert, also jeweils die x- und y-Werte der Pixel aufsummiert und durch die Punkt-Anzahl n des Zeichens geteilt.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.7)$$

Um eine Skalierungsinvarianz zu erreichen, ist eine Normierung der reduzierten Zeichen notwendig. Dafür wird zuerst die Standardabweichung der Ausdehnung in y-Richtung des zu vergleichenden, originalen Zeichens berechnet und danach die Standardabweichung aller reduzierten Buchstaben.

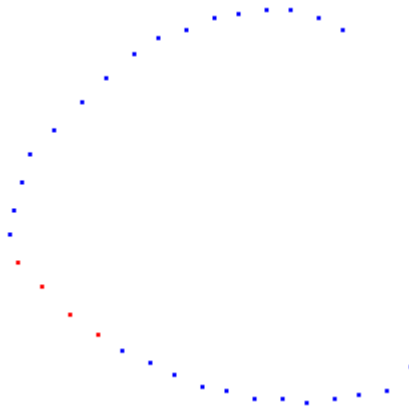
$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.8)$$

Die Normierung der reduzierten Zeichen erfolgt mittels der Division der x- und y-Koordinaten durch einen Größendifferenzfaktor. Diesen Faktor erhält man, indem man den Standardabweichungswert des reduzierten Buchstaben durch die Standardabweichung des originalen zu vergleichenden Zeichens teilt.

$$\text{Größendifferenzfaktor} = \frac{s_{red.}}{s_{orig.}} \quad (2.9)$$

$$x_{red.\_norm} = \frac{x_{red.}}{\text{Größendifferenzfaktor}} \quad y_{red.\_norm} = \frac{y_{red.}}{\text{Größendifferenzfaktor}} \quad (2.10)$$

Nach der Normierung der reduzierten Buchstaben ist eine erneute Mittelwert-Kalkulation notwendig. Bei der Berechnung der Abstände werden die reduzierten Zeichen in zwei äußere und einen inneren Bereich zerteilt, die mit einem variablen Gewichtungsfaktor in das Ergebnis eingehen. Die Aufteilung eines C's in die Bereiche außen (blau) und innen (rot) ist in der Abb. 16 graphisch dargestellt.



**Abb. 16: Zerteilung eines C's in Bereiche**

Die einzelnen Punkte des zu vergleichenden Zeichens werden jeweils mit denen der anderen vorhandenen Buchstaben verglichen. Die Abstände in x- und y-Richtung werden für innen und außen gewichtet und aufsummiert. Die Differenzen setzen sich wie im folgenden Beispiel zusammen:

$$Differenz\_x_i = Wichtung \cdot |x_i - x_{i\_Vergleich} - \bar{x}_i + \bar{x}_{i\_Vergleich}| \quad (2.11)$$

$$Differenz\_y_i = Wichtung \cdot |y_i - y_{i\_Vergleich} - \bar{y}_i + \bar{y}_{i\_Vergleich}| \quad (2.12)$$

Zu dieser Summe werden noch die gewichteten Differenzen der Abstände zwischen den ersten Punkten und den letzten Pixeln n in x- und y-Richtung addiert:

$$Differenz\_x = Wichtung\_x \cdot \|x_n - x_1 - |x_{n\_Vergleich} - x_{1\_Vergleich}|\| \quad (2.13)$$

$$Differenz\_y = Wichtung\_y \cdot \|y_n - y_1 - |y_{n\_Vergleich} - y_{1\_Vergleich}|\| \quad (2.14)$$



Durch die Summe der Abstände erhält man Auskunft über die Zeichen mit der geringsten Abweichung. Die Abb. 17 zeigt das Ergebnis eines Vergleichs. Von links nach rechts sind das zu vergleichende C, das Zeichen mit der größten Ähnlichkeit und die Differenzen zwischen beiden dargestellt.



**Abb. 17: Zu vergleichendes Zeichen Ähnlichstes Zeichen**

**Differenzen**

## 2.2.5 Legendre-Polynome

In der 5. Methode werden zur Bestimmung des Zeichens mit der geringsten Abweichung die Legendre-Koeffizienten verwendet. In Verbindung mit den dazugehörigen Legendre-Polynomen können Funktionen angenähert werden. Diese Polynome spielen unter anderem eine wichtige Rolle in der theoretischen Physik. Allgemein dargestellt sehen sie wie folgt aus:

$$P_n(x) = \frac{1}{(2^n n!)} \cdot \frac{d^n}{dx^n} \left[ (x^2 - 1)^n \right] \quad (2.15)$$

Dies sind die ersten zehn Legendre-Polynome im Intervall  $[-1,1]$ :

$$P_0(x) = 1$$

$$P_1(x) = x$$

$$P_2(x) = \frac{1}{2}(3x^2 - 1)$$

$$P_3(x) = \frac{1}{2}(5x^3 - 3x)$$

$$P_4(x) = \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3)$$

$$P_5(x) = \frac{1}{8}(63x^5 - 70x^3 + 15x)$$

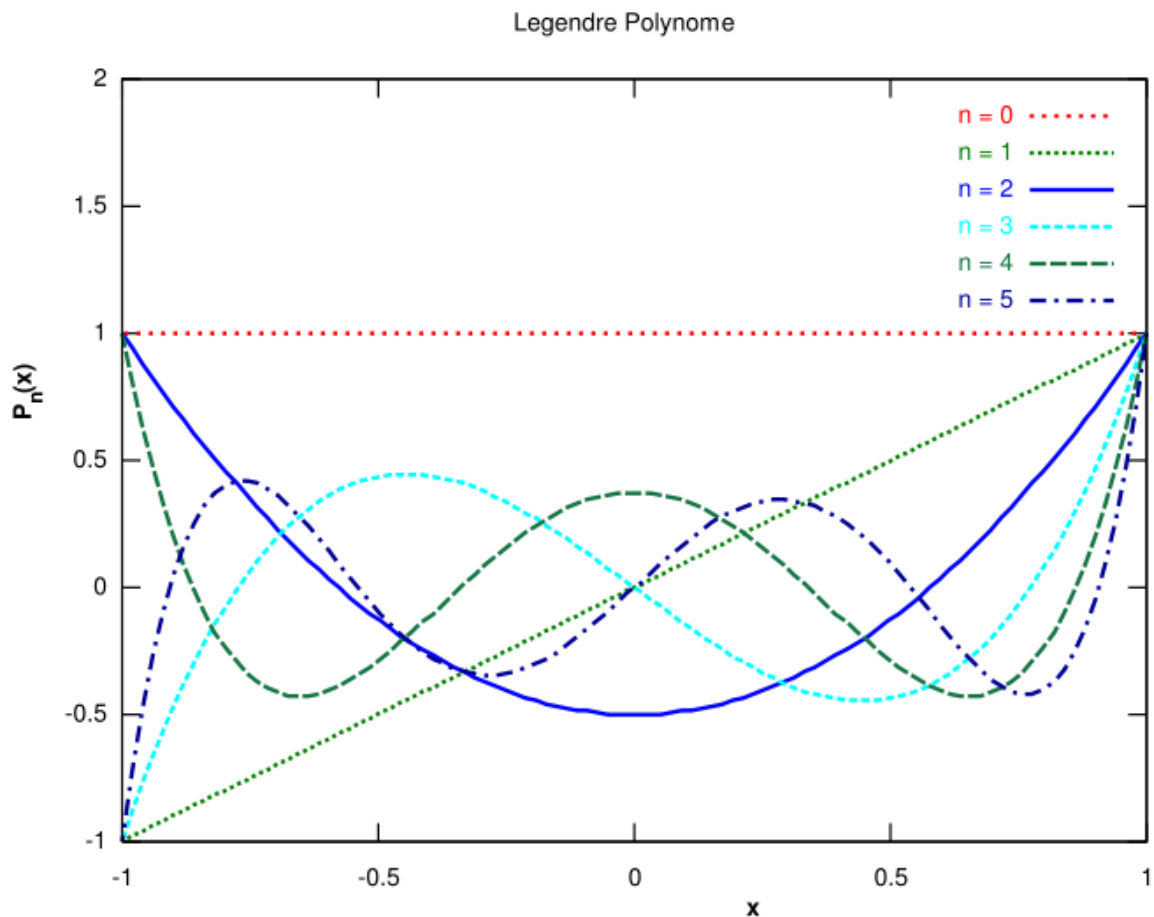
$$P_6(x) = \frac{1}{16}(231x^6 - 315x^4 + 105x^2 - 5)$$

$$P_7(x) = \frac{1}{16}(429x^7 - 693x^5 + 315x^3 - 35x)$$

$$P_8(x) = \frac{1}{128}(6435x^8 - 12012x^6 + 6930x^4 - 1260x^2 + 35)$$

$$P_9(x) = \frac{1}{128}(12155x^9 - 25740x^7 + 18018x^5 - 4620x^3 + 315x)$$

Ein Polynom  $P_n(x)$  hat im Intervall  $[-1,1]$  genau  $n$  Nullstellen und zwischen 2 Nullstellen von  $P_n(x)$  liegt genau eine Nullstelle von  $P_{n+1}(x)$ . In Abb. 18 sind die Legendre-Polynome bis zum 6. Grad graphisch dargestellt.



**Abb. 18: Legendre-Polynome bis zum 6. Grad [5]**

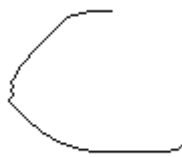
Eine Annäherung der Funktionen durch die Polynome erfolgt durch den Ausdruck 2.16, wobei  $c_n$  die Legendre-Koeffizienten darstellen.

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n P_n(x) \quad (2.16)$$

Die für die Approximation erforderlichen Koeffizienten können über das folgende Integral berechnet werden:

$$c_n = \frac{2n+1}{2} \int_{-1}^1 f(x) P_n(x) dx \quad (2.17)$$

Nach der Kalkulation lässt sich durch das Einsetzen der Koeffizienten und der Polynome in den Ausdruck 2.16 eine rücktransformierte Funktion erzeugen. Als Beispiel für eine Annäherung durch diskrete Legendre-Transformation werden in Abb. 19 ein C als Original und als Rücktransformation gezeigt.



**Abb. 19: Original Zeichen**



**Rücktransformiertes Zeichen**

Durch das Berechnen und Aufsummieren der Koeffizient-Differenzen aller vorhandenen Zeichen lassen sich anschließend die Buchstaben mit den größten Ähnlichkeiten ermitteln.

## 2.2.6 Bild-Momente

In der digitalen Bildverarbeitung kommen geometrische Momente zur Gewinnung von Formmerkmalen zum Einsatz. Für die Berechnung der Bild-Momente wird die Programmbibliothek OpenCV verwendet. Um Objekte zu beschreiben existieren 4 Arten von Momenten, wovon die ersten 3 in diesem Software-Projekt verwendet werden:

- Diskrete geometrische Momente
- Diskrete zentrale Momente
- Normierte zentrale Momente
- Hu Momente

Die diskreten geometrischen Momente, oder auch Spat-Momente genannt, sind durch folgenden Ausdruck definiert:

$$m_{p,q} = \iint x^p y^q f(x,y) dx dy \quad (2.18)$$

Momente besitzen eine Ordnung  $j=(p+q)$ , wobei für jede Ordnung  $j+1$  Momente existieren. Eine Übersicht der vorliegenden Spat-Momente ist im folgenden Abschnitt dargestellt.

Moment 0. Ordnung:  $m_{0,0} = \iint f(x) dx dy \quad (2.19)$

Momente 1. Ordnung:  $m_{1,0} = \iint x f(x) dx dy \quad (2.20)$   
 $m_{0,1} = \iint y f(x) dx dy$

Momente 2. Ordnung:  $m_{2,0} = \iint x^2 f(x) dx dy \quad (2.21)$   
 $m_{0,2} = \iint y^2 f(x) dx dy$   
 $m_{1,1} = \iint xy f(x) dx dy$

Momente 3. Ordnung:  $m_{2,1} = \iint x^2 y f(x) dx dy \quad (2.22)$   
 $m_{1,2} = \iint xy^2 f(x) dx dy$   
 $m_{3,0} = \iint x^3 f(x) dx dy$   
 $m_{0,3} = \iint y^3 f(x) dx dy$

Aus diesen Momenten lassen sich verschiedene Informationen über das Objekt gewinnen. Das Moment 0. Ordnung stellt z.B. die Fläche dar, aus der sich zusammen mit den Momenten 1. Ordnung der Schwerpunkt des Objektes berechnen lässt:

$$x_c = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}} \quad y_c = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \quad (2.23)$$

Wenn der Schwerpunkt bekannt ist, können die Momente relativ dazu, also die diskreten zentralen Momente ermittelt werden.

Diskrete zentrale Momente haben bei der Objekt-Erkennung den Vorteil, dass die berechneten Werte unabhängig von der Position des Objektes im Bild sind. Die zentrierten Momente können durch Verwendung von (2.23) über den folgenden allgemeinen Ausdruck dargestellt und berechnet werden:

$$\mu_{p,q} = \iint (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x, y) dx dy \quad (2.24)$$

Die Berechnung der zentralen Momente 1. und höherer Ordnung kann auch direkt aus schon vorhandenen Spat-Momenten mittels dieser Formel erfolgen:

$$\mu_{p,q} = \frac{m_{p,q}}{m_{0,0}} - \left( \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}} \right)^p \cdot \left( \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \right)^q \quad (2.25)$$

Sollen die Momente zusätzlich zur Translation auch noch unabhängig von der Größe des Objektes sein, muss eine Normierung der Werte erfolgen:

$$\nu_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{m_{0,0}^{\frac{p+q}{2}+1}} \quad (2.26)$$

Durch die Verwendung von den normierten zentralen Momenten (2.26) lassen sich somit Zeichen unterschiedlicher Größe besser miteinander vergleichen.

Die so genannten Hu-Momente sind translations-, skalierungs- und rotationsunabhängig. Da diese Momente in dem Software-Projekt nicht verwendet werden, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen.

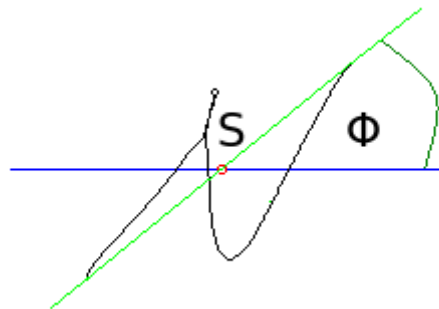
Aus den Momenten lassen sich folgende weitere Formmerkmale bestimmen:

- Winkel der Hauptachse
- Exzentrizität
- Füllfaktor

Die Hauptachse führt durch den Schwerpunkt S des Zeichens und in die Richtung, in der das Objekt seine größte Ausdehnung besitzt. Der Winkel  $\Phi$ , der durch die Haupt- und der x-Achse gebildet wird, lässt sich aus den diskreten zentralen Momenten bestimmen:

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{2 \cdot \mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}} \right) \quad (2.27)$$

Ein Beispiel dazu ist in Abb. 20 dargestellt.



**Abb. 20: Bsp. Hauptachse**

Als Exzentrizität  $\varepsilon$  bezeichnet man die Abweichung von der Rundheit eines Objektes. Bei einem Kreis nimmt diese den Wert 0 und bei einer geraden Linie den Wert 1 an. Für alle anderen Objekte liegen die Werte zwischen 0 und 1. Das in Abb. 21 dargestellte C besitzt den Wert 0,0719, während das gezeigte I eine Exzentrizität von 0,9931 hat.



**Abb. 21: Beispiel 1 Exzentrizität**



**Beispiel 2 Exzentrizität**

Die Exzentrizität kann durch Verwendung der Momente 2. Ordnung bestimmt werden.

$$\varepsilon = \frac{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2}{(\mu_{2,0} + \mu_{0,2})^2} \quad (2.28)$$

Ein weiteres Merkmal stellt der Füllfaktor dar. Bei dem Füllfaktor wird die Fläche des Zeichens durch Höhe mal Breite des umschreibenden Rechtecks minimaler Fläche dividiert.

$$\text{Füllfaktor} = \frac{\mu_{0,0}}{\text{Höhe} \cdot \text{Breite}} \quad (2.29)$$

Zusätzlich zu den Formmerkmalen aus den Momenten lässt sich auch noch das Seitenverhältnis verwenden. Die dafür benötigte Breite und Höhe wird wieder durch das umschreibende Rechteck minimaler Fläche bestimmt.

$$\text{Seitenverhältnis} = \frac{\text{Breite}}{\text{Höhe}} \quad (2.30)$$

Zusammen mit dem Schwerpunkt (2.23) werden der Winkel der Hauptachse, die Exzentrizität, der Kehrwert des Füllfaktors und das Seitenverhältnis als objektbeschreibende Formmerkmale verwendet, um den gesuchten Schreiber zu ermitteln.

Allgemein gilt bei dieser Methode, dass der Vergleich über die Summe der Differenzen von den Momenten erfolgt. Je geringer die Differenz ist, desto größer ist die Ähnlichkeit des Zeichens.

## 2.2.7 Normierung

Da die Fourier-, Chebychev- und Legendre-Koeffizienten nicht unabhängig von der Zeichengröße sind, ist eine Normierung notwendig. Um eine

Skalierungsinvarianz zu erreichen, wird jeder Koeffizient durch die Summe der quadrierten Koeffizienten geteilt.

$$c_{n\_norm} = \frac{c_n}{\sqrt{\sum_0^k c_k^2}} \quad (2.31)$$

## 2.2.8 Arten der Distanzberechnung

Um beim Vergleich die Differenzen zwischen den einzelnen Zeichen zu bilden, werden drei verschiedene Distanzberechnungsarten eingesetzt: Die Manhattan-Metrik, oder auch City-Block-Distanz genannt, die Euklidische Distanz und die Mahalanobis-Distanz.

Bei der City-Block-Distanz ist der Abstand zwischen 2 Punkten als die Summe der absoluten Differenzen ihrer Einzelkoordinaten definiert.

$$d(x, y) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (2.32)$$

Den Namen hat diese Distanzdefinition von dem schachbrettmusterartigen Aufbau von Manhattan. Wie in Abb. 22 durch die Strecken 1, 2 und 3 dargestellt, ist bei Verwendung der City-Block-Distanz die Entfernung zwischen den beiden Punkten immer identische 12 Einheiten lang.

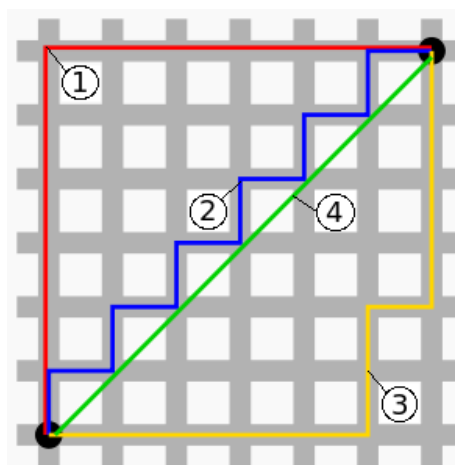


Abb. 22: Beispiel City-Block- und Euklidische-Distanz



Im Gegensatz dazu wird bei der euklidischen Distanz die direkte Verbindung zwischen den beiden Punkten gewählt. Diese Distanz kann durch folgenden Ausdruck berechnet werden:

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2.33)$$

Wie die in Abb. 22 eingezeichnete Strecke mit der Nummer 4 zeigt, reduziert sich dadurch die Strecke sichtbar. Als Ergebnis erhält man in diesem Fall eine Entfernung von 8,485 Einheiten.

Allgemein handelt es sich bei der Mahalanobis-Distanz um ein Distanzmaß zwischen Punkten in einem mehrdimensionalen Vektorraum. Die Mahalanobis-Distanz wird z.B. in der Statistik bei multivariaten Verfahren verwendet. Bei multivariaten Verteilungen werden die m- Koordinaten eines Punktes als m-dimensionaler Spaltenvektor dargestellt. Man fasst ihn als Realisation eines Zufallsvektors  $X$  mit der Kovarianzmatrix  $C$  auf. Der Abstand zweier so verteilter Punkte  $\underline{x}$  und  $\underline{y}$  wird dann durch die Mahalanobis-Distanz bestimmt.

$$d(x, y) = \sqrt{(x - y)^T C^{-1} (x - y)} \quad (2.34)$$

Graphisch bilden die Punkte gleicher Mahalanobis-Distanz von einem Zentrum im zweidimensionalen eine gedrehte und verzerrte Ellipse.

Bei dieser Anwendung werden mit der inversen Kovarianzmatrix  $C^{-1}$  die Mahalanobis-Abstände von den Merkmalsvektoren  $p$  und  $q$  berechnet.

$$d = \sqrt{(p - q)^T C^{-1} (p - q)} \quad (2.35)$$

Für die Vergleiche werden die Abstände vom Zeichen des gesuchten Schreibers zu allen vorhandenen Schriftproben ermittelt. Die Buchstaben mit der geringsten Abstands-Differenz weisen dann die größte Ähnlichkeit auf.

## 2.2.9 Diskrete Transformation der Zeichen

Durch die Fourierreihen, die Chebychev- und die Legendre-Polynome lassen sich die Verläufe von Funktionen annähern. Eine Funktion ist definiert als eine Beziehung zwischen zwei Mengen, die jedem Element der einen Menge ein Element der anderen Menge zuordnet. Wenn man den Verlauf des Zeichens in Abb. 23 betrachtet, erkennt man, dass man dort bis zu drei y-Werte für einen x-Wert vorfindet. Zusätzlich stellt das Zeichen keine Funktion dar, über die der Verlauf beschrieben werden kann. Also kann eine Annäherung des Schriftverlaufes nicht direkt erfolgen.

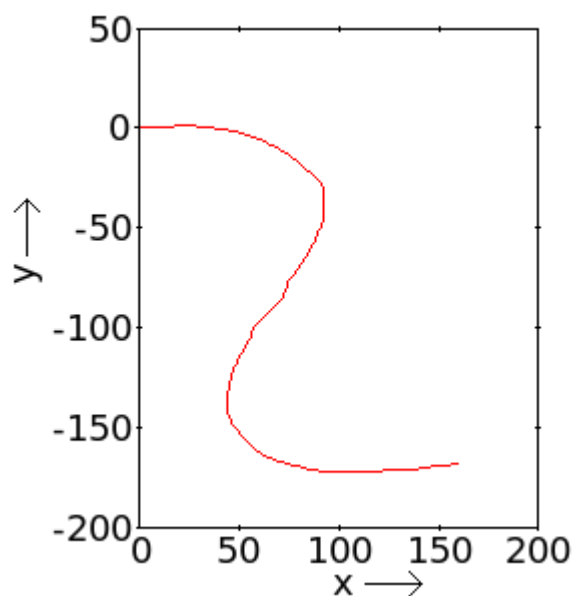


Abb. 23: x,y-Diagramm eines eingelesenen Z

Gelöst werden diese beiden Probleme, indem die Schreiblinie in x- und y-Bewegung aufgespalten und danach jede einzeln diskret transformiert wird. Das in die einzelnen Richtungen aufgetrennte Z aus Abb. 23 wird in den Abb. 24 und 25 dargestellt.

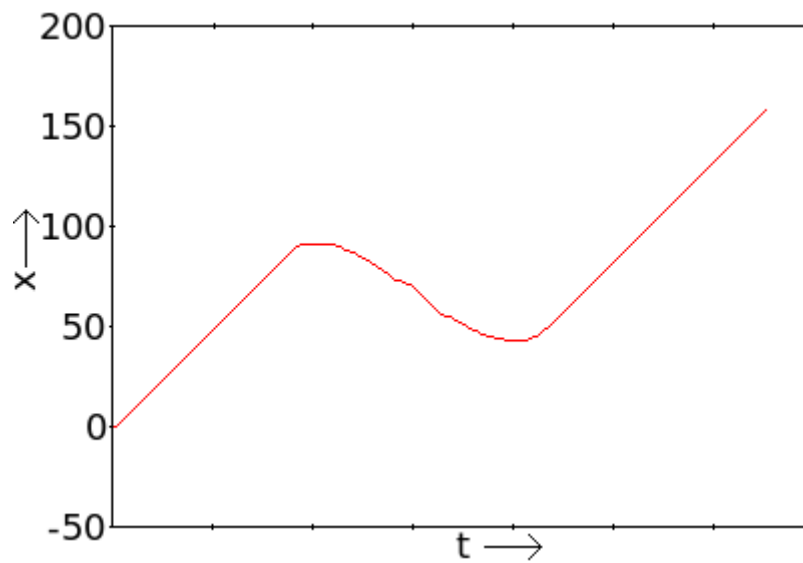


Abb. 24: x,t-Diagramm des eingelesenen Z

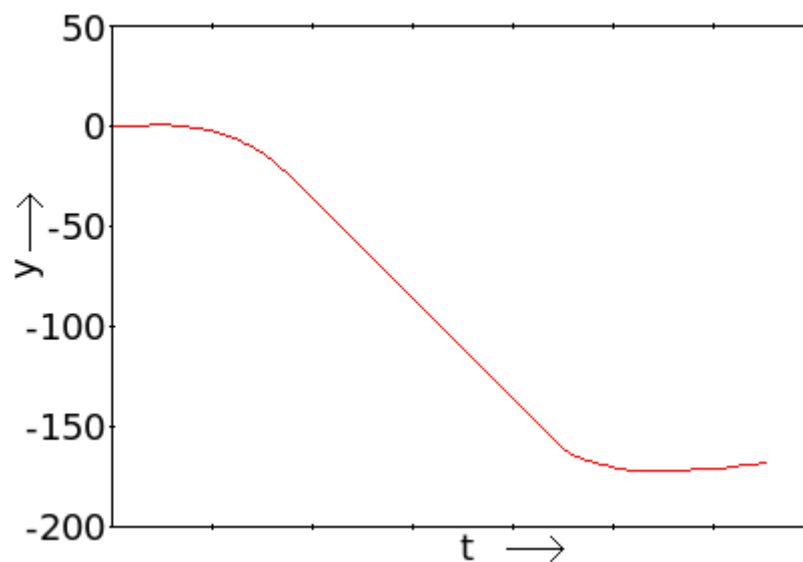


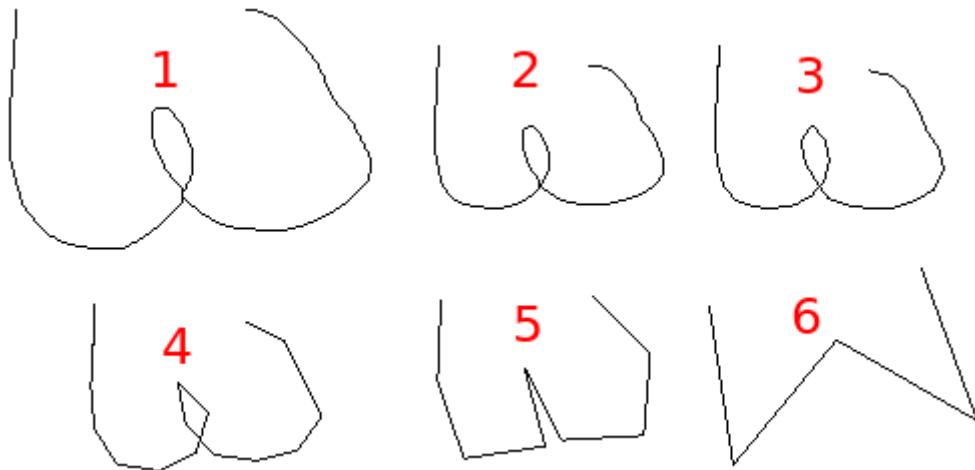
Abb. 25: y,t-Diagramm des eingelesenen Z

## 2.3 Rekonstruktion der Zeichen

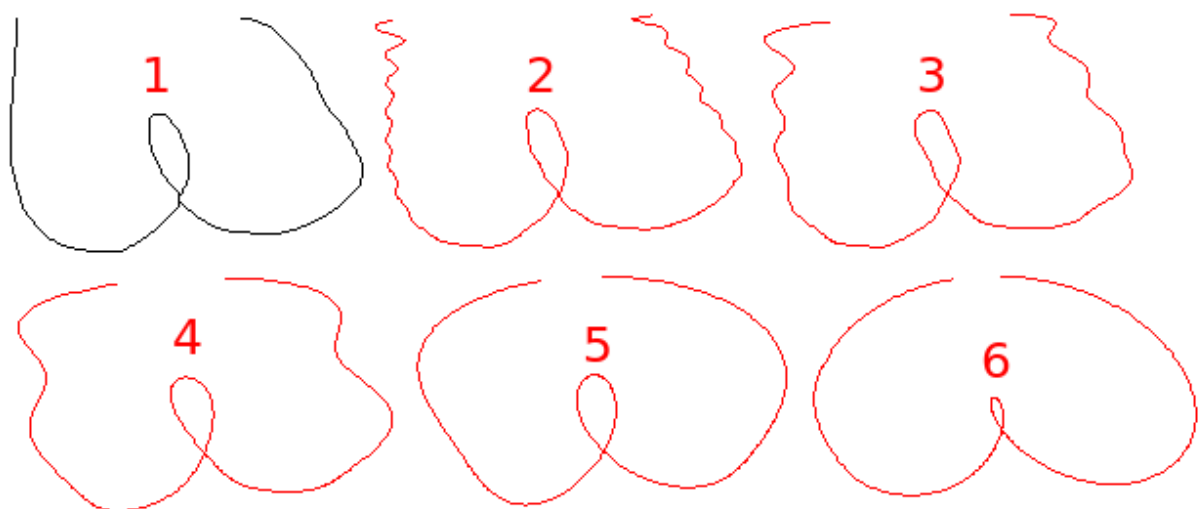
Aus den Merkmalen der meisten verwendeten Vergleichsmethoden lässt sich der ursprüngliche Schriftverlauf wieder rekonstruieren. Die Genauigkeit dieser Nachbildungen hängt von der Anzahl der verwendeten Merkmale ab. Die Abb. 26 bis 29 zeigen die Nachbildungen eines W's durch Vektoren, Fourierreihen,

Subsamplingverfahren und Legendre-Polynome. Bei allen Methoden sind die dargestellten Reproduktionen wie folgt durchnummeriert:

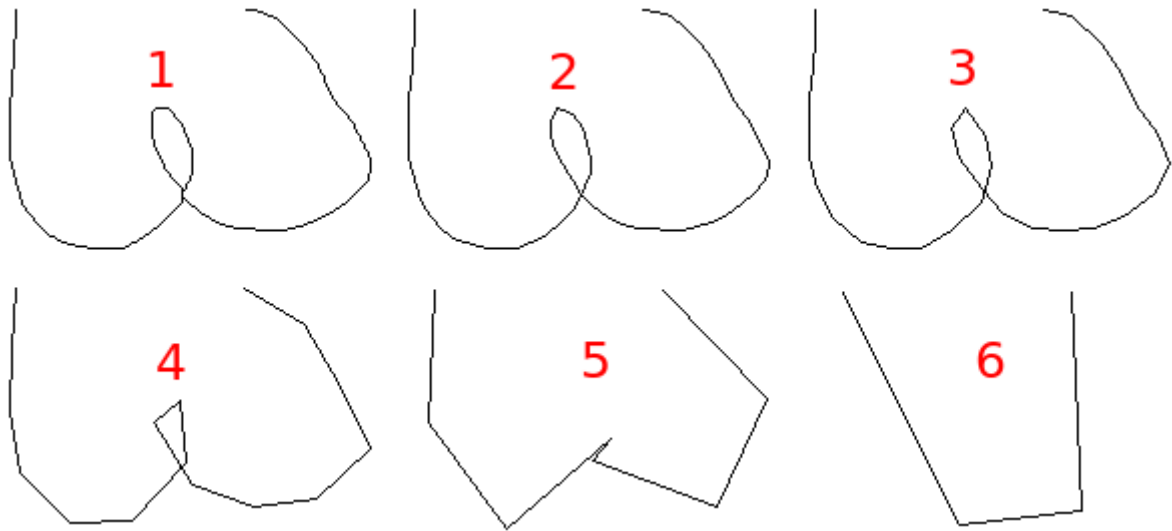
- Nr. 1: Originales Zeichen
- Nr. 2: Rekonst. 64 Merkmale
- Nr. 3: Rekonst. 32 Merkmale
- Nr. 4: Rekonst. 16 Merkmale
- Nr. 5: Rekonst. 8 Merkmale
- Nr. 6: Rekonst. 4 Merkmale



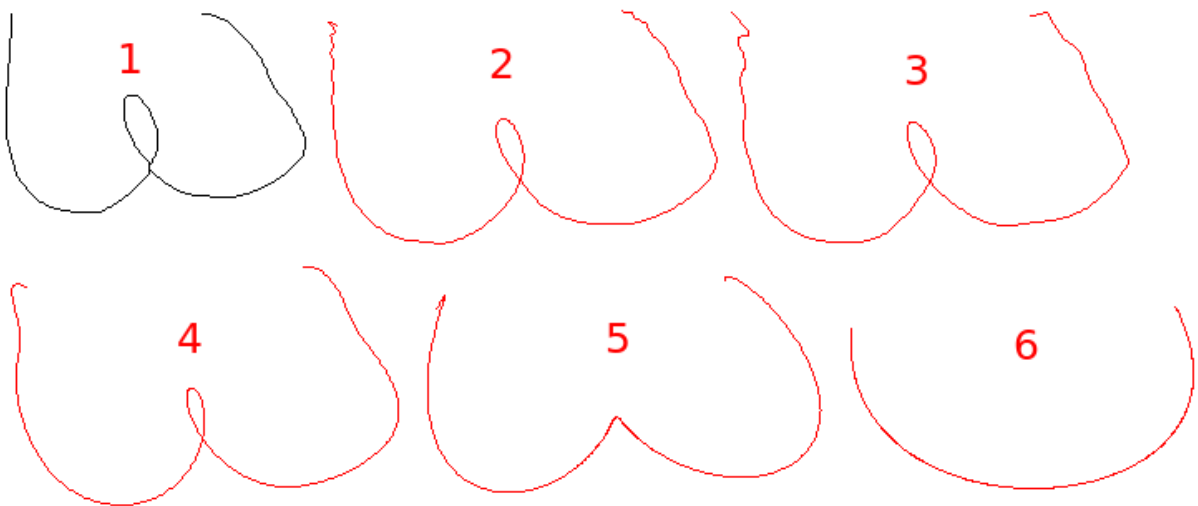
**Abb. 26: Rekonstruktion aus Vektoren**



**Abb. 27: Rekonstruktion aus Fourier-Koeffizienten**



**Abb. 28: Rekonstruktion aus den Punkten subgesamelter Buchstaben**



**Abb. 29: Rekonstruktion aus Legendre-Koeffizienten**

Werden für die Nachbildung Vektoren oder Fourier-Koeffizienten verwendet, lässt sich in diesem Beispiel, selbst bei nur 4 Merkmalen, das dargestellte Zeichen noch eindeutig erkennen. Für die Rekonstruktion aus den Punkten der bei dem Kreuzkorrelations-Verfahren genutzten, reduzierten Buchstaben und

den Legendre-Koeffizienten sind hingegen jeweils 8 Merkmale notwendig um dies zu erreichen.

## 2.4 Eingesetzte Entwicklungsumgebung

Für die Programmierung wird Visual Studio 2005 Professional Edition von Microsoft eingesetzt. Die Entwicklungsumgebung unterstützt die Sprachen Visual Basic, C#, C++, J#, sowie das .Net-Framework. Ein integrierter Debugger erleichtert einem bei der Entwicklung die Arbeit. In Abb. 30 ist die graphische Benutzeroberfläche von Visual Studio dargestellt.

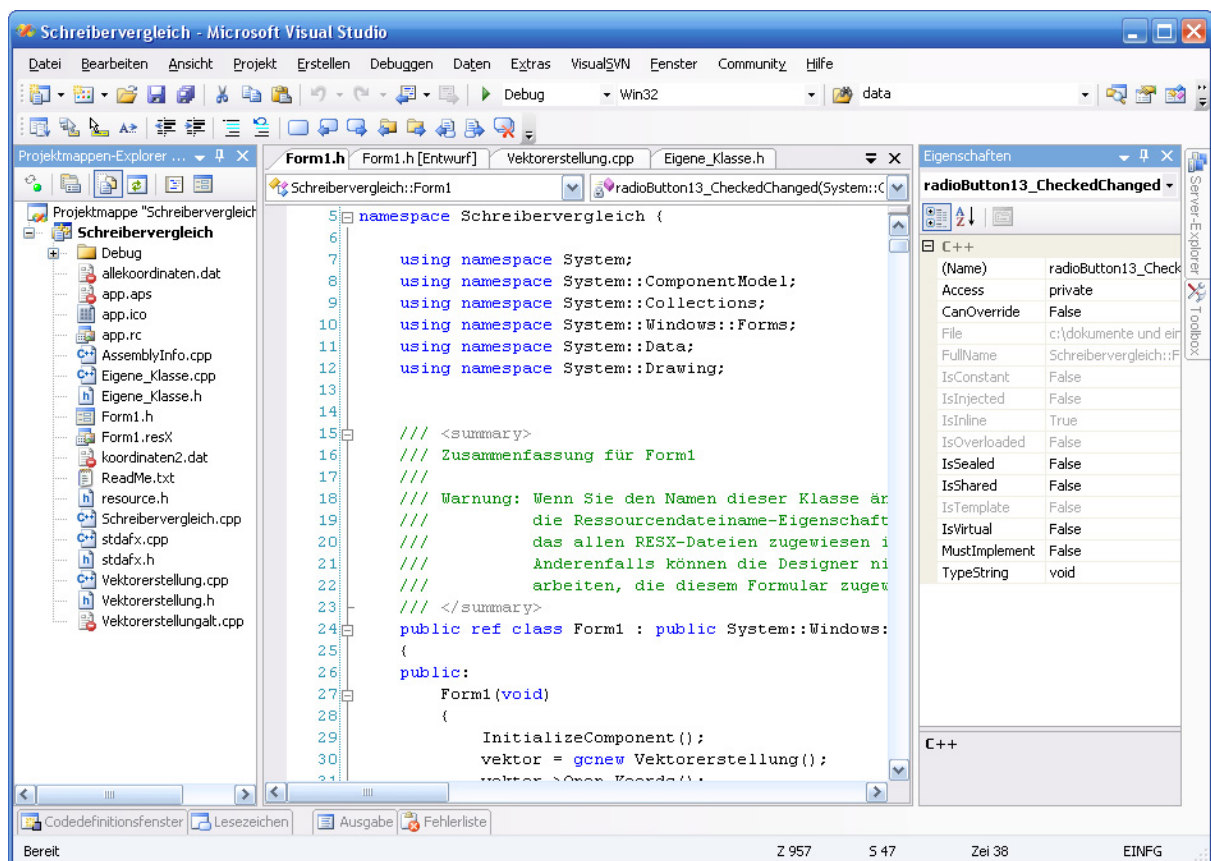


Abb. 30: Integrierte Entwicklungsumgebung Visual Studio© 2005 Professional

Als Programmiersprache wird C++/CLI mit .NET verwendet, um die Kompatibilität mit anderen, schon vorhandenen Projekt-Teilen zu gewährleisten. C++/CLI ist eine von Microsoft entwickelte Variante der Programmiersprache C++, die den Zugriff auf die virtuelle Laufzeitumgebung der .NET-Plattform mit Hilfe von speziell darauf zugeschnittenen Spracherweiterungen ermöglicht.

C++/CLI beinhaltet einige Neuerungen gegenüber dem ISO-C++, z.B. eine CLI-Reihung (Array), die ^ als Objektzeiger verwendet und die Garbage-Collection, die den Speicher von nicht mehr benötigten Objekten und Variablen automatisch wieder frei gibt. Außerdem gibt es ein von Microsoft IntelliSense genanntes System, welches im Quelltext-Editor zum aktuell geschriebenen Objekt-Namen Informationen über die dazugehörigen Methoden und Eigenschaften anzeigt.

Visual Studio ermöglicht es dem Programmierer, neben Win32-Konsolen-Anwendungen, Webdienste und eigenen DLL's auch Windows-Programme mit graphischer Benutzeroberfläche zu erstellen.

Bei der eventuell nötigen Suche nach Fehlern im Quell-Text wird man bei Visual Studio durch einen integrierten Debugger unterstützt. Damit lassen sich im Source-Code einfach Haltepunkte einfügen (Abb. 31), an denen das laufende Programm unterbrochen wird. Während der Unterbrechung ist der aktuell bearbeitete Haltepunkt durch einen gelben Pfeil markiert und es wird beim Überfahren der Attribute mit dem Mauszeiger der aktuelle Wert davon angezeigt.

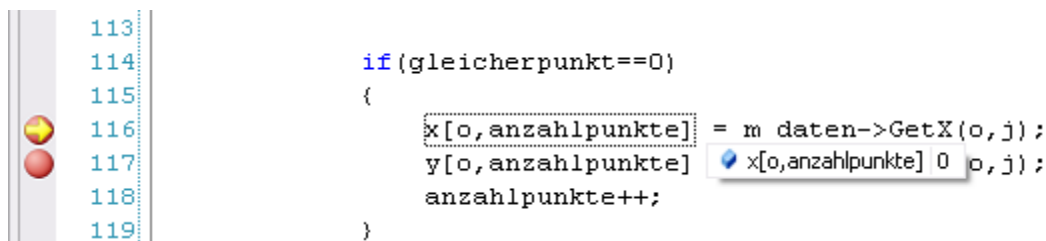


Abb. 31: Haltepunkte beim Debuggen

## 2.5 Die graphische Benutzeroberfläche

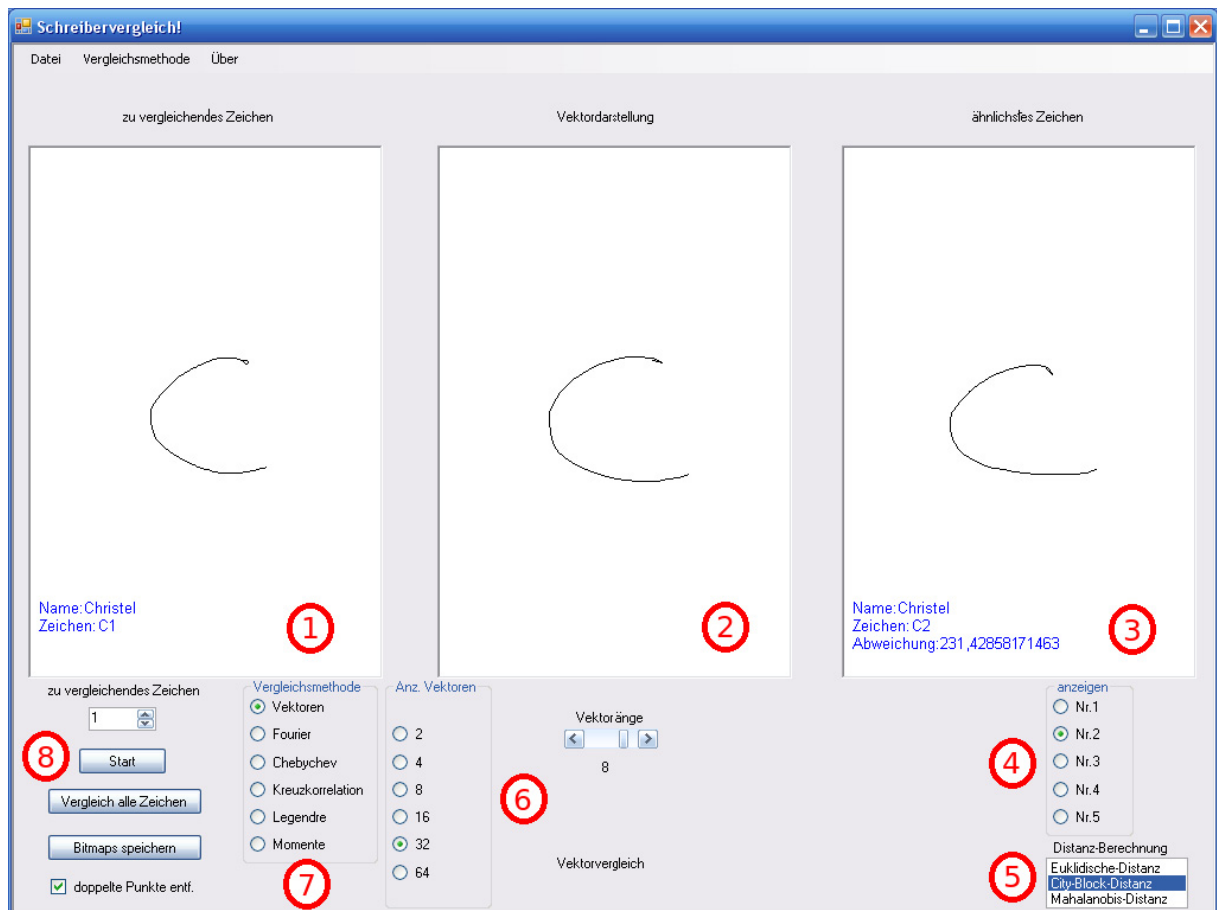
Zu Beginn wird für das Programm eine neue Projekt-Mappe angelegt. Dabei wird als Programmtyp eine Windows-Form-Anwendung ausgewählt. In die erstellte, leere Windows-Form lassen sich über die Toolbox im einfachen Drag&Drop-Verfahren gewünschte Bedien- und Anzeige-Elemente hinzufügen

und platzieren. Anschließend können den einzelnen Elementen Funktionen zugeordnet werden, die bei deren Benutzung ausgeführt werden.

Für die graphische Benutzeroberfläche des Programms (Abb. 32) werden folgende, von 1 bis 8 nummerierte, Bedien- und Anzeigeelemente eingesetzt: Zur Darstellung von Bildern werden so genannte PictureBoxen eingesetzt. Die Bilddateien können entweder von der Festplatte des Rechners geladen, oder wie in diesem Fall, direkt im Programm erzeugt werden. In der linken PictureBox (Nr. 1) wird das aktuell zu vergleichende Zeichen angezeigt. Die mittlere (Nr. 2) wird für die Anzeige alternativer Darstellungen der einzelnen Verfahren genutzt. Auf der rechten Seite (Nr. 3) werden die Zeichen mit der größten Ähnlichkeit dargestellt. Als zusätzliche Informationen sind darin der Name des Schreibers, der Buchstabentyp und die absolute Abweichung angegeben. Durch die darunter angeordneten RadioButtons (Nr. 4) lassen sich die 5 ähnlichsten Zeichen, geordnet nach den Abweichungen, auswählen und anzeigen. Über die ListBox (Nr. 5) wird die zu verwendende Distanzberechnungs-Methode ausgewählt. Die mit der Nummer 6 markierten RadioButtons sind für die Auswahl der Koeffizienten- und Vektoranzahl sowie der Momentarten.

Die in das Programm integrierten Vergleichsmethoden lassen sich über die RadioButtons mit der Nummer 7 auswählen. Eine Auswahl des zu vergleichenden Zeichens und der Start des Vergleichs werden über die mit der Nummer 8 gekennzeichneten Bedienelemente vorgenommen. Der Knopf unter dem Start-Button dient zum automatisierten Vergleich aller Zeichen miteinander. Dabei werden jeweils die Angaben des Schreibernamens und des Buchstabentyps vom aktuellen Zeichen mit denen des zweitähnlichsten verglichen. Als Ergebnisse werden in dem mit der Nummer 2 markierten Feld die Erkennungsraten der aktuell benutzten Vergleichs-Methode angezeigt.





**Abb. 32: Graphische Benutzeroberfläche**

Der generelle Aufbau des Programms ist in Abb. 33 als Klassendiagramm dargestellt. Aus Platzgründen ist die Anzahl der darin enthaltenen Klassen, Attribute und Methoden reduziert. Ein vollständiges Klassendiagramm ist dem Anhang beigelegt.

Um eine Wiederverwendbarkeit der allgemeinen Methoden zu erreichen, wird die Vorgehensweise der Vererbung eingesetzt. Dabei werden die in der Basisklasse Verarbeitung zusammengefassten Methoden den Subklassen wie Vektorerstellung, Fourier usw. zugänglich gemacht.

Beim Programmstart wird durch die GUI Form1 ein Objekt der Klasse StartSchreibervergleich erstellt. Diese Instanz erzeugt anschließend die Objekte der weiteren Klassen. Damit die Daten nur ein Mal eingelesen werden müssen, wird das Objekt an die Oberklasse Verarbeitung weitergereicht und steht somit allen abgeleiteten Klassen zur Verfügung.

Allgemein hat dieser Aufbau den Vorteil, dass die Darstellungs- und die Verarbeitungs-Schicht voneinander getrennt sind. Dadurch kann der Teil für die Verarbeitung der Daten einfacher in andere Programme integriert werden.

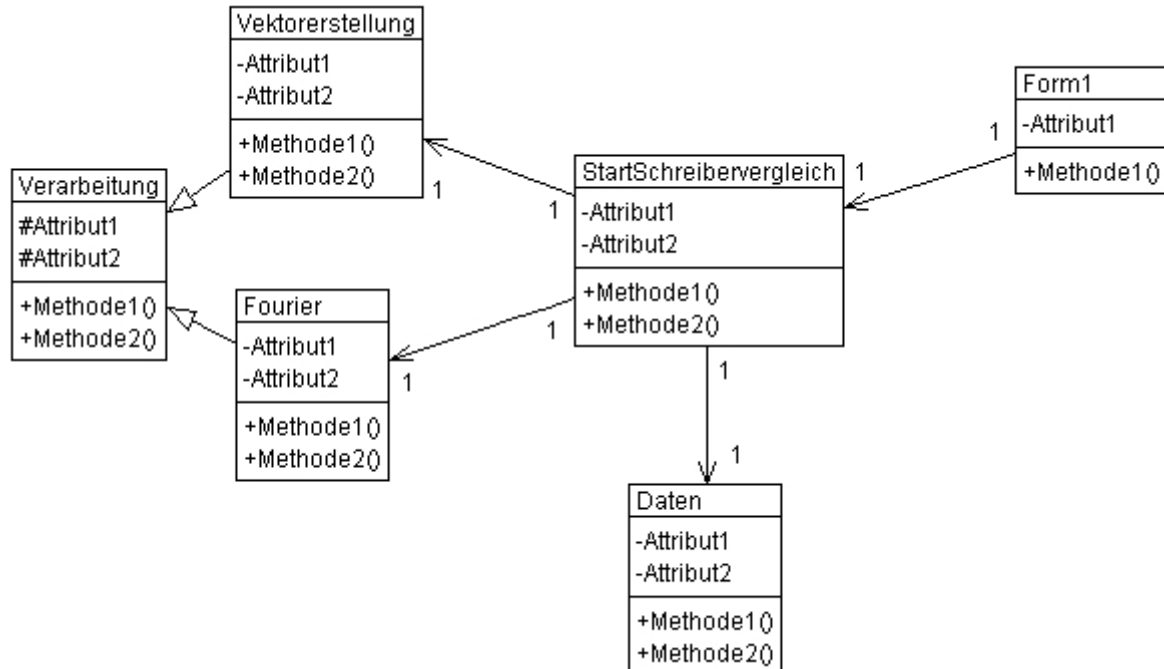


Abb. 33: Vereinfachtes Klassendiagramm

## 2.6 Ergebnisse

Um die Tendenz der Erkennungsraten in Abhängigkeit von der Schreiberanzahl zu erhalten, werden die Testreihen ein Mal mit 3 und ein Mal mit 10 Schreibern durchgeführt.

Bei den Ergebnissen der Vergleiche werden 3 Fälle unterschieden:

- 1) Das Zeichen wird richtig erkannt
- 2) Der Schreiber wird richtig erkannt
- 3) Das Zeichen und der Schreiber werden richtig erkannt

## 2.6.1 Ergebnisse Vektoren

Der Vergleich über die Winkel von Vektoren wird mit den Vektoranzahlen 64, 32, 16, 8, 4 und 2, jeweils mit der City-Block-Distanz, der Euklidischen-Distanz und der Mahalanobis-Distanz durchgeführt.

Die Ergebnisse für 180 Zeichen sind in den Tabellen 1 bis 3 aufgeführt. Bei Verwendung der City-Block-Distanz (Diagramm 1) mit 64 bis 4 Vektoren bleiben die Erkennungsraten der Zeichen relativ konstant im Bereich zwischen 95,56 und 98,33%. Die Raten der richtig erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber liegen bei diesen Vektoranzahlen über 20 Prozent niedriger. Der Vergleich mit nur 2 Vektoren führt bei allen drei unterschiedenen Fällen zu deutlich schlechteren Ergebnissen.

	64 Vektoren	32 Vektoren	16 Vektoren	8 Vektoren	4 Vektoren	2 Vektoren
Zeichen	98,33%	98,33%	97,22%	96,67%	95,56%	85,00%
Schreiber	71,67%	78,33%	82,78%	81,67%	72,78%	58,33%
Zeichen+ Schreiber	70,56%	77,22%	80,56%	79,44%	71,67%	53,33%

Tabelle 1: Ergebnisse Vektorvergleich City-Block 180 Zeichen

Die Berechnung über die Euklidische-Distanz führt zu etwas niedrigeren Erkennungsraten der Zeichen. Der Bereich der Werte geht hier von 85,56 bis 95,00 Prozent (Diagramm 2). Bei den korrekten Schreibern und Zeichen+Schreibern liegen die Werte bis zu 49,44% darunter. Auch hier wird mit 2 Vektoren das schlechteste Ergebnis erreicht.

	64 Vektoren	32 Vektoren	16 Vektoren	8 Vektoren	4 Vektoren	2 Vektoren
Zeichen	92,22%	93,89%	92,22%	92,78%	95,00%	85,56%
Schreiber	57,22%	72,22%	76,11%	74,44%	74,44%	57,78%
Zeichen+ Schreiber	55,56%	68,89%	72,78%	71,11%	73,33%	52,22%

Tabelle 2: Ergebnisse Vektorvergleich Euklid 180 Zeichen

Die Verwendung der Mahalanobis-Distanz erzeugt bei den Zeichen auch eine Erkennungsrate von über 90 Prozent (Diagramm 3). Je nach verwendeter

Vektoranzahl liegt die Rate bei Schreiber und Zeichen+Schreiber zwischen 53,33% und 77,78%.

	64 Vektoren	32 Vektoren	16 Vektoren	8 Vektoren	4 Vektoren	2 Vektoren
Zeichen	97,22%	97,22%	96,67%	97,22%	95,00%	83,33%
Schreiber	73,33%	77,22%	77,78%	79,44%	71,67%	58,33%
Zeichen+ Schreiber	72,78%	75,56%	75,56%	77,78%	70,56%	53,33%

Tabelle 3: Ergebnisse Vektorvergleich Mahalanobis 180 Zeichen

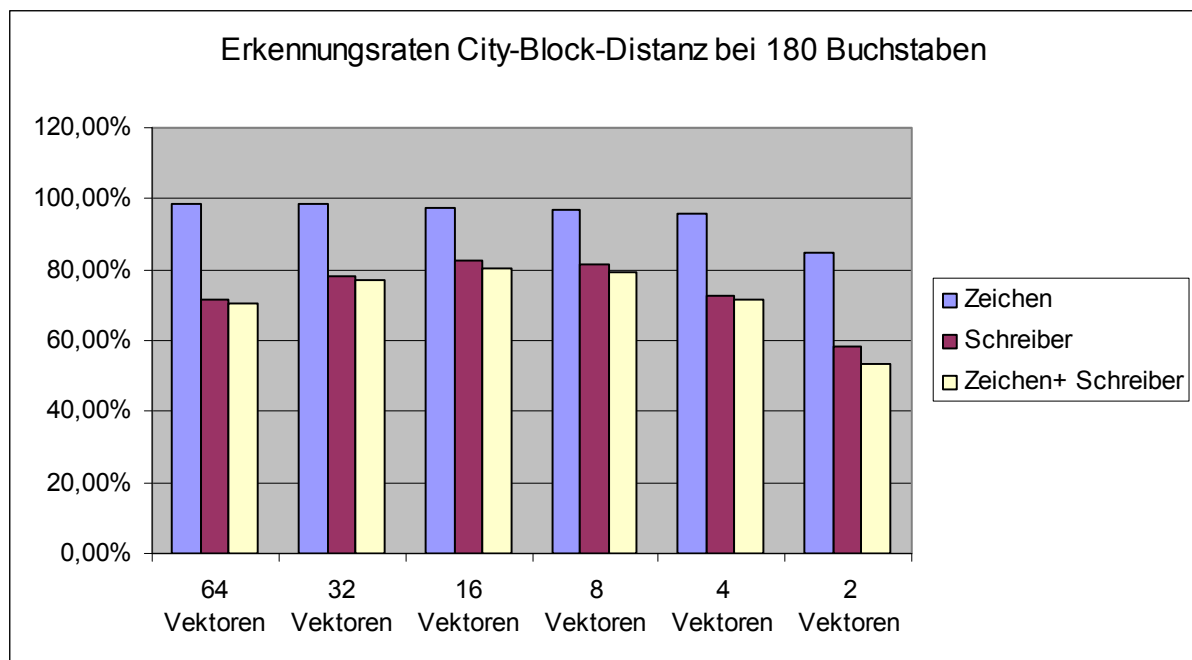
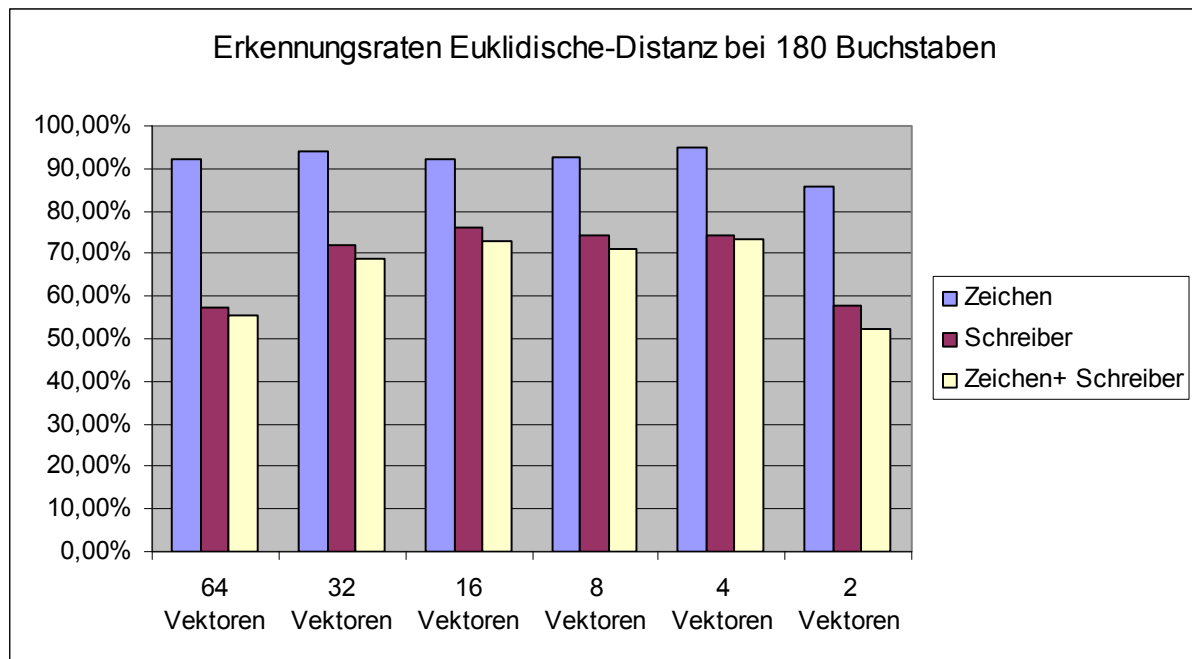
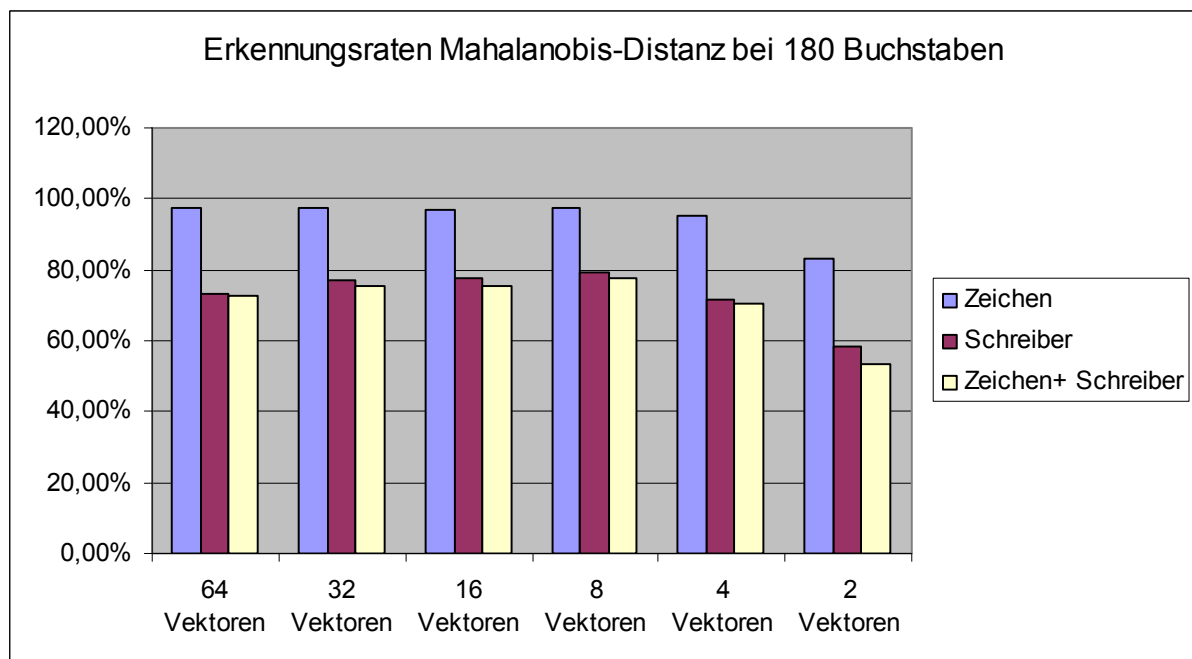


Diagramm 1: Erkennungsraten City-Block-Distanz bei 180 Buchstaben

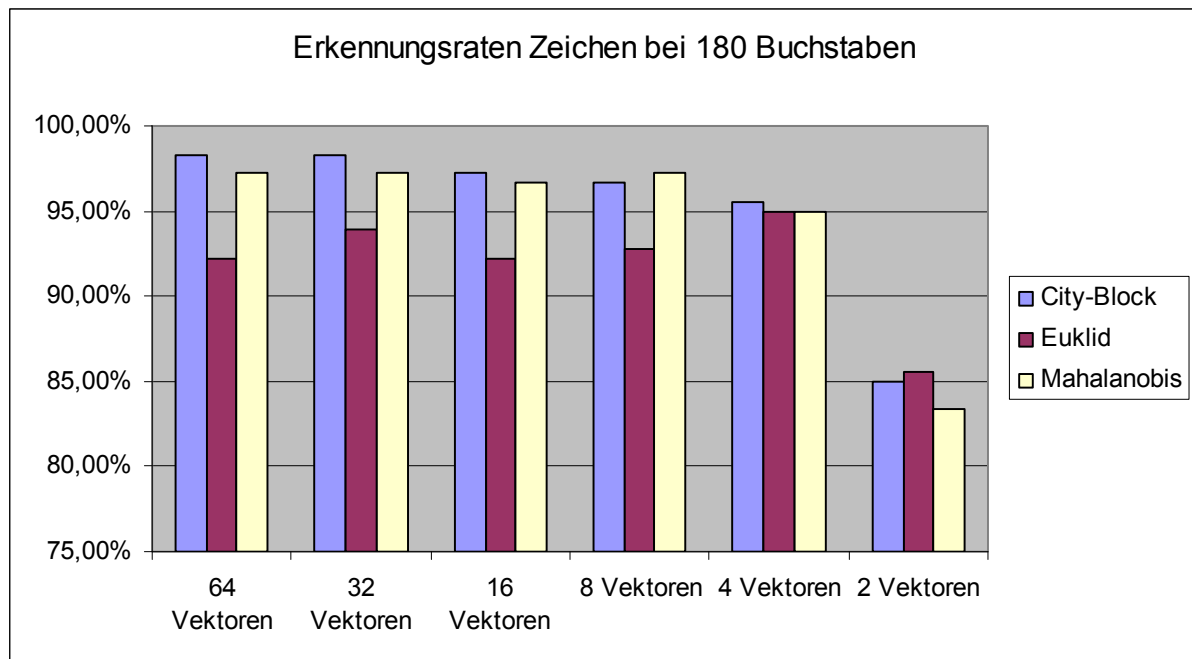


**Diagramm 2: Erkennungsraten Euklidische-Distanz bei 180 Buchstaben**



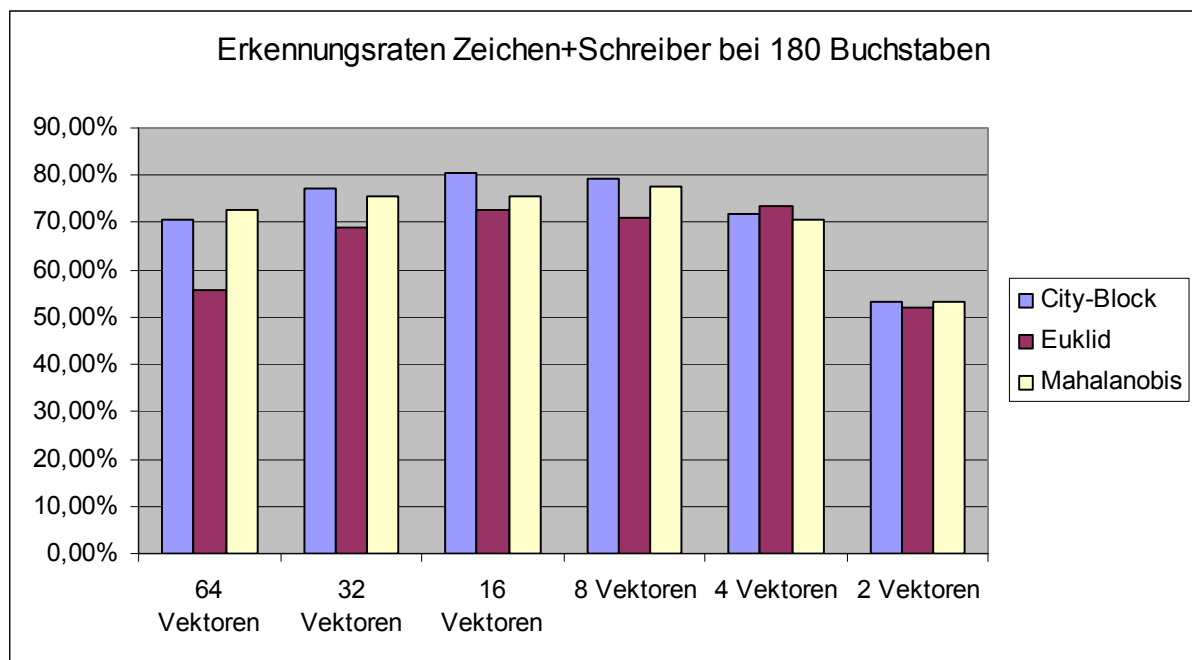
**Diagramm 3: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz bei 180 Buchstaben**

Die Abhängigkeit der Zeichenerkennungsraten von der benutzten Distanzart ist in Diagramm 4 dargestellt. Es zeigt sich, dass im Bereich zwischen 64 und 16 Vektoren die City-Block-Distanz die besten Werte liefert. Der Höchstwert 98,33 Prozent wird bei der Verwendung von 32 und 64 Vektoren erreicht.



**Diagramm 4: Abhängigkeit der Zeichenerkennungsraten von der Distanzart bei 180 Buchstaben**

Bei den Erkennungsraten der Zeichen+Schreiber stellt sich ebenfalls die City-Block-Distanz als beste Lösung heraus. Durch sie wird bei Verwendung von 16 Vektoren der höchste Wert mit 80,56 Prozent erzielt.



**Diagramm 5: Abhängigkeit der Zeichen+Schreiber-Erkennungsraten von der Distanzart bei 180 B.**

Die Ergebnisse der Vergleiche bei 10 Schreibern mit insgesamt 600 Zeichen sind in den Tabellen 4 bis 6 aufgeführt. Eine Erhöhung der Zeichenanzahl wirkt sich bei allen drei Distanzberechnungs-Arten kaum auf die Werte der erkannten Zeichen aus. Die Ergebnisse für die gefundenen Schreiber und Zeichen+Schreiber sinken aber um über 20 Prozent ab.

Der Vergleich mittels der City-Block-Distanz (Diagramm 6) führt bei Variation der Vektoranzahl zwischen 64 und 4 Vektoren zu Zeichenerkennungsraten auf konstantem Niveau von über 97%. Die Raten der erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber bewegen sich dabei zwischen 49,83 und 58,33 Prozent. Bei Verwendung von nur 2 Vektoren brechen diese Werte auf 27,00 bzw. 25,67% ein.

	64 Vektoren	32 Vektoren	16 Vektoren	8 Vektoren	4 Vektoren	2 Vektoren
Zeichen	99,16%	99,33%	99,17%	98,00%	97,83%	76,50%
Schreiber	49,83%	53,00%	58,33%	58,17%	51,33%	27,00%
Zeichen+ Schreiber	49,83%	53,00%	58,00%	57,67%	51,00%	25,67%

Tabelle 4: Ergebnisse Vektorvergleich City-Block 600 Zeichen

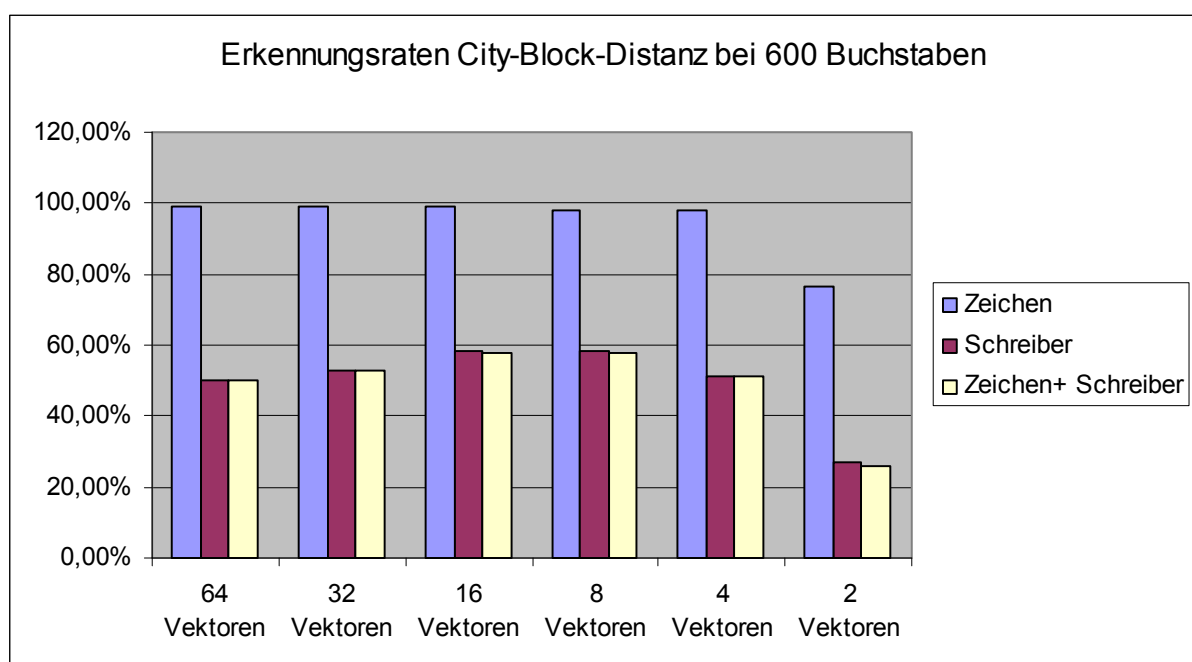


Diagramm 6: Erkennungsraten City-Block-Distanz bei 600 Buchstaben

Die Erkennungsraten der Zeichen bei Verwendung der Euklidischen-Distanz fallen ähnlich gut aus wie bei der City-Block-Distanz. Die Werte der richtig erkannten Zeichen+Schreiber jedoch liegen gerade beim Benutzen von 64 und 32 Vektoren deutlich darunter.

	64 Vektoren	32 Vektoren	16 Vektoren	8 Vektoren	4 Vektoren	2 Vektoren
Zeichen	96,50%	96,83%	96,00%	96,33%	97,66%	76,33%
Schreiber	36,17%	42,33%	51,83%	53,00%	50,67%	26,83%
Zeichen+ Schreiber	36,00%	42,00%	51,17%	52,17%	50,33%	25,00%

Tabelle 5: Ergebnisse Vektorvergleich Euklid 600 Zeichen

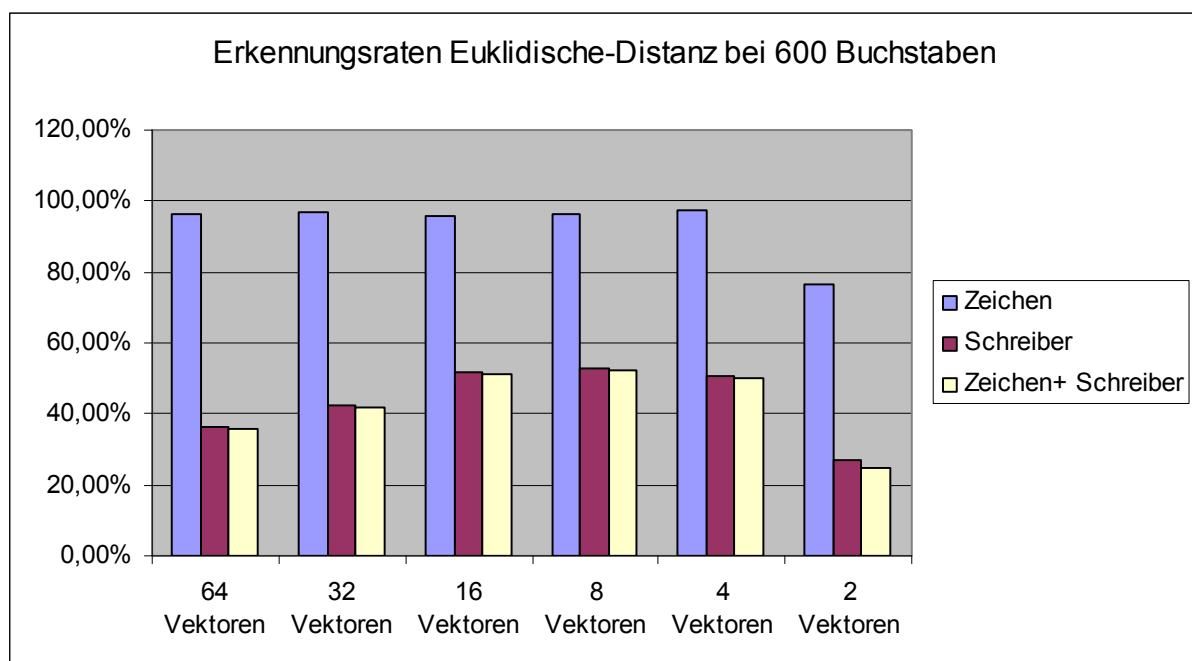


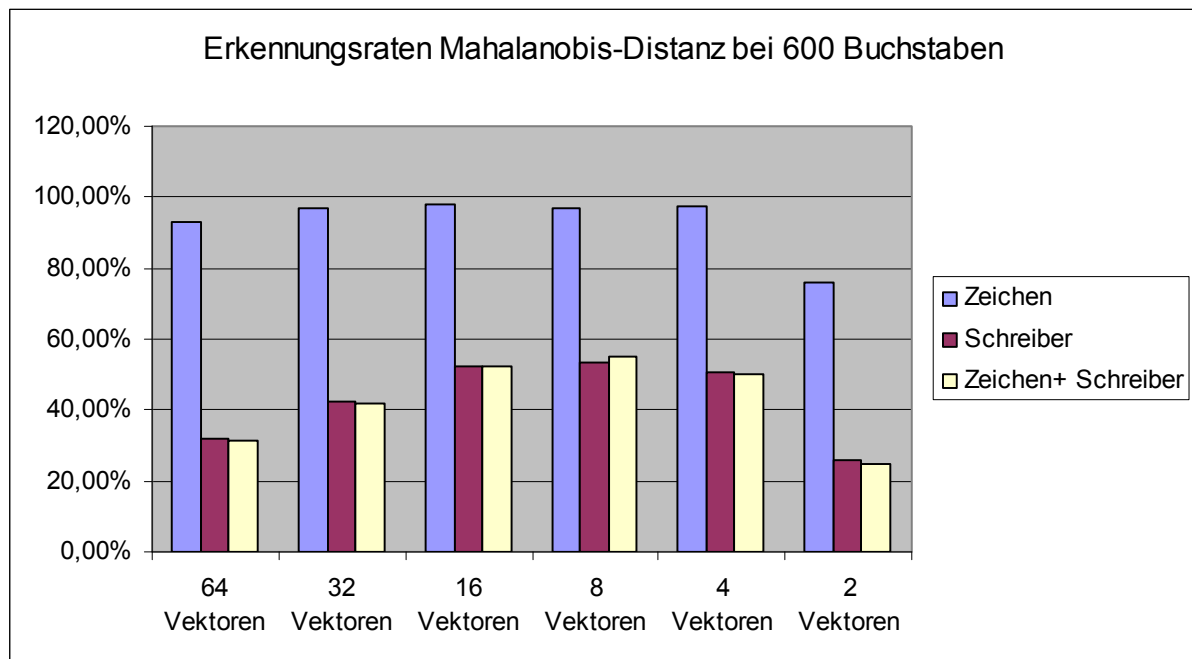
Diagramm 7: Erkennungsraten Euklidische-Distanz bei 600 Buchstaben

Die Vergleiche mit der Mahalanobis-Distanz zeigen, dass die Zeichen-Erkennungsraten mit abnehmender Vektoranzahl steigen. Der Höchstwert wird bei 16 Vektoren erreicht. Bei nur 2 Vektoren nimmt der Wert aber wieder schlagartig ab. Ähnlich verhalten sich die Ergebnisse für die korrekt erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber. Sie nehmen bis 8 Vektoren zu, gehen danach aber wieder runter.



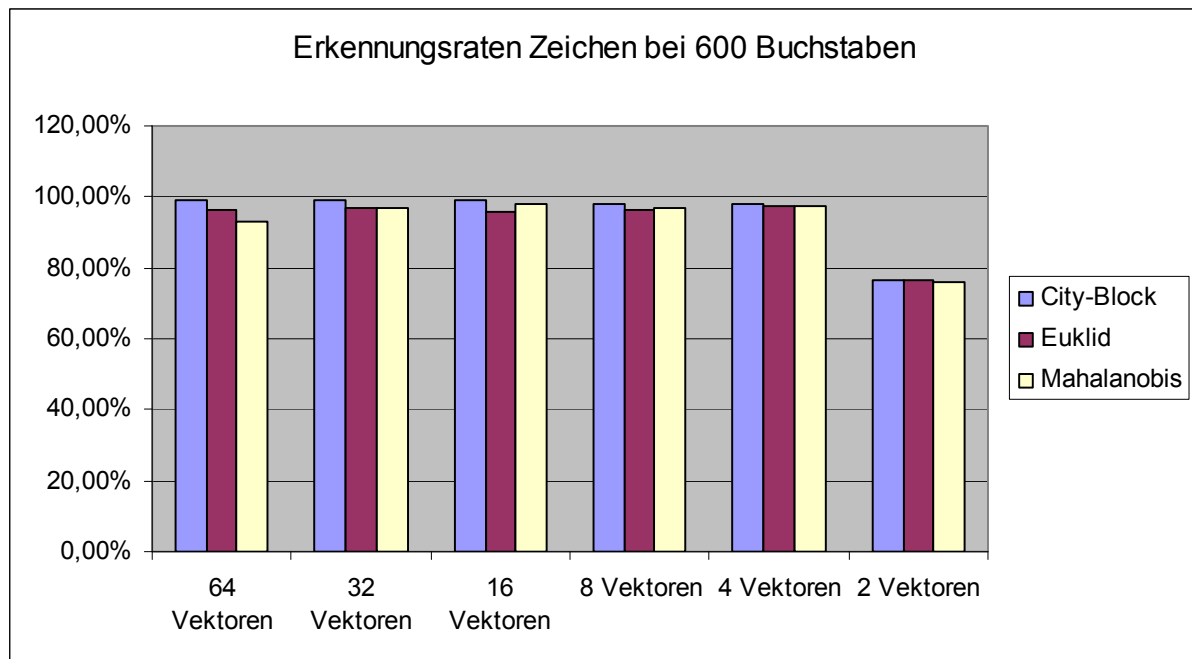
	64 Vektoren	32 Vektoren	16 Vektoren	8 Vektoren	4 Vektoren	2 Vektoren
Zeichen	93,17%	97,00%	98,17%	96,83%	97,67%	76,17%
Schreiber	31,83%	42,17%	52,33%	53,33%	50,67%	25,83%
Zeichen+ Schreiber	31,33%	42,00%	52,17%	54,83%	50,33%	24,50%

Tabelle 6: Ergebnisse Vektorvergleich Mahalanobis 600 Zeichen



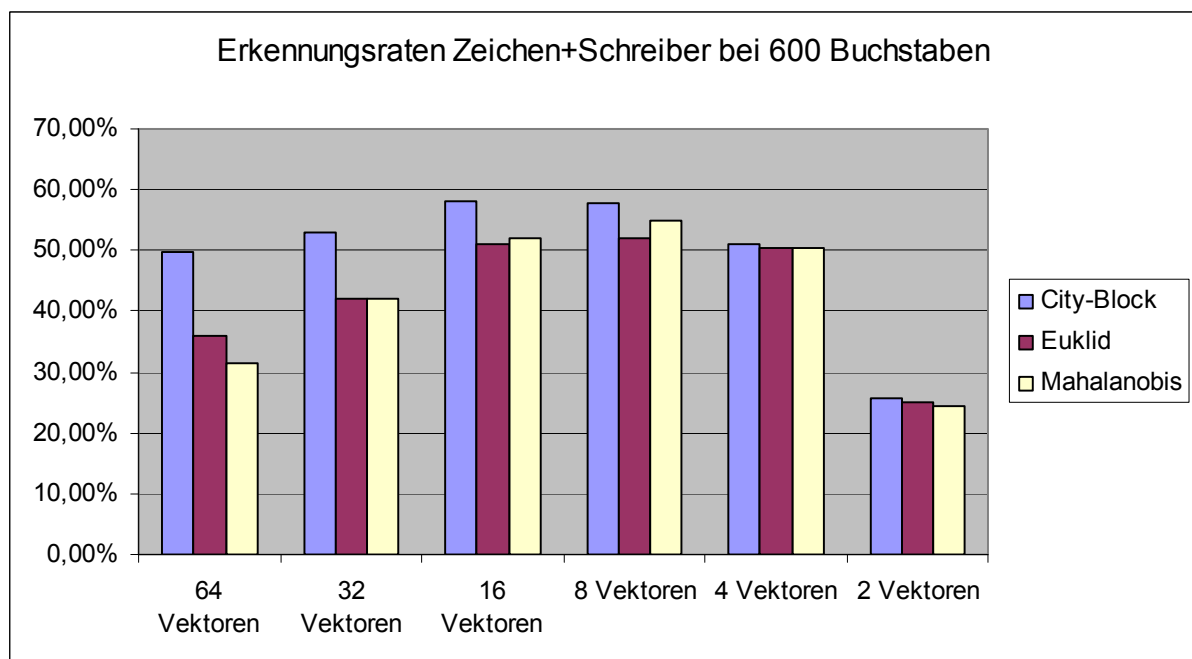
**Diagramm 8: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz bei 600 Buchstaben**

Die Abhängigkeit der Zeichenerkennungsraten von der verwendeten Distanzart wird im Diagramm 9 gezeigt. Hier zeigt sich, dass die City-Block-Distanz bei der Verwendung von 64 bis 4 Vektoren wieder annähernd konstante Ergebnisse liefert. Die Raten von der Euklidischen- und der Mahalanobis-Distanz nehmen bei geringeren Vektoranzahlen zu. Bei der Verwendung von nur 4 Vektoren liegen die Werte aller 3 Distanz-Berechnungsarten fast gleichauf. Eine weitere Reduktion der Vektoranzahl auf 2 führt zu einer Verringerung der Erkennungsraten um ca. 20%



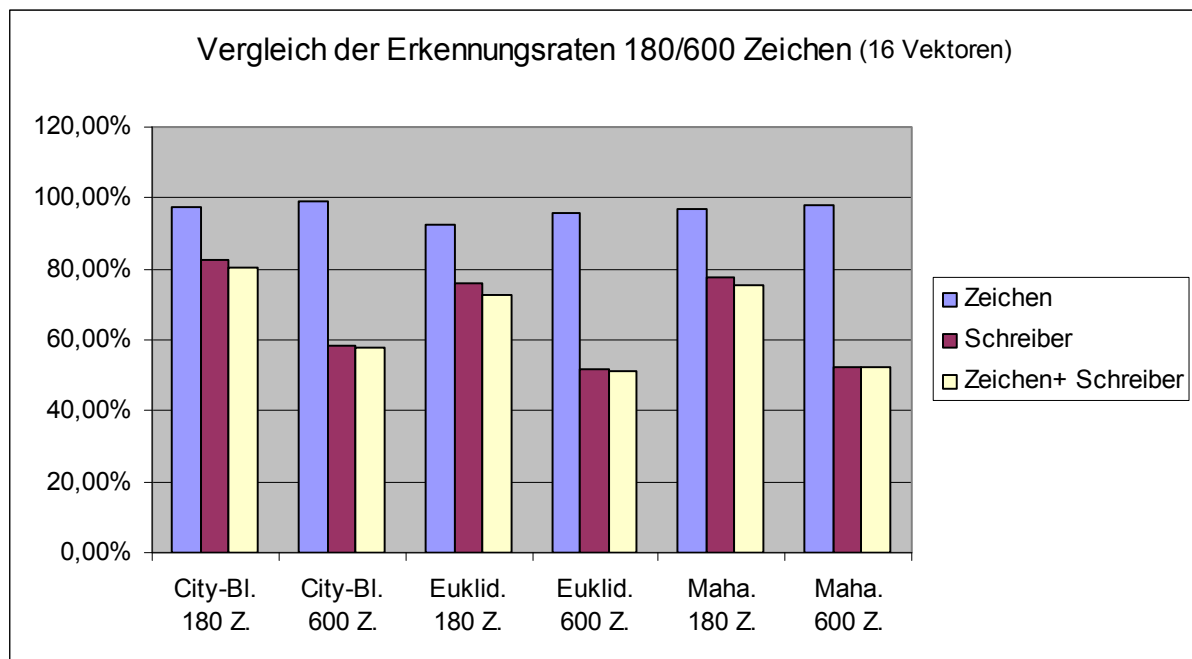
**Diagramm 9: Abhängigkeit der Zeichenerkennungsrate von der Distanzart bei 600 Buchstaben**

Die Resultate für die Abhängigkeit der richtig erkannten Zeichen+Schreiber von der verwendeten Distanzart sind in Diagramm 10 dargestellt. Die Raten erreichen auch hier wieder durch den City-Block-Abstand die besten Werte, wobei die Differenzen der Raten zu den anderen beiden mit abnehmender Vektoranzahl kleiner werden.



**Diagramm 10: Abhängigkeit der Zeichen+Schreiber-Erkennungsrate von der Distanzart bei 600 B.**

Der direkte Vergleich der Erkennungsraten von 180 und 600 Zeichen bei 16 Vektoren (Diagramm 11) zeigt, dass die Werte für die richtig erkannten Zeichen bei allen Distanz-Berechnungsmethoden über 90% bleiben. Bei den gefundenen Schreibern und Zeichen+Schreibern nehmen die Raten um bis zu 23,39 Prozent ab.



**Diagramm 11: Vergleich der Erkennungsraten 180/600 Zeichen bei 16 Vektoren**

Die besten Ergebnisse bei dem Vergleich der Winkel von Vektoren sind durch die Verwendung von der City-Block-Distanz zu erzielen. Bei der Variation der Vektoranzahl hat sich gezeigt, dass 16 Vektoren gerade im Bezug auf korrekten Zeichen+Schreiber die höchsten Werte liefern.

## 2.6.2 Ergebnisse Fourierreihen

Für den Vergleich der Fourier-Koeffizienten werden wieder alle drei Distanzberechnungsarten eingesetzt. Die Koeffizienten-Anzahl wird dabei zwischen 64 und 2 variiert. Zusätzlich wird die Auswirkung einer Normierung der Koeffizienten auf die Ergebnisse untersucht. In den Tabellen 7 bis 18 sind die dabei ermittelten Werte dargestellt.

Die Ergebnisse für den Vergleich der Fourier-Koeffizienten mit der City-Block-Distanz (Tabelle 7) bei 180 Zeichen zeigen, dass die Erkennung der Zeichen auch bei diesem Verfahren sehr gut funktioniert. Die Erkennungsraten für die Schreiber und Zeichen+Schreiber liegen fast durchweg bei über 80 Prozent. Die Ausnahme mit geringeren Werten stellt hierbei der Vergleich mit nur 2 Koeffizienten dar.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	67,22%
Schreiber	81,11%	81,67%	82,78%	82,78%	80,56%	58,89%
Zeichen+ Schreiber	81,11%	81,67%	82,78%	82,78%	80,56%	46,67%

Tabelle 7: Ergebnisse Fourier.-Vergleich City-Block 180 Zeichen

Durch das Verwenden der Euklidischen-Distanz nimmt die Erkennungsrate der Zeichen nur bei 2 Koeffizienten minimal ab, aber dafür werden die Werte für die erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber etwas verbessert (Tabelle 8, Diagramm 13).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	66,67%
Schreiber	83,33%	83,33%	83,33%	83,89%	81,11%	60,56%
Zeichen+ Schreiber	83,33%	83,33%	83,33%	83,89%	81,11%	47,78%

Tabelle 8: Ergebnisse Fourier-Vergleich Euklid 180 Zeichen

In der Tabelle 9 und im Diagramm 14 sind die Resultate der Koeffizienten-Vergleiche mit der Mahalanobis-Distanz dargestellt. Die Werte für die erkannten Zeichen liegen wie vorher auf hohem Niveau. Die Erkennungsraten der Kategorien Schreiber und Zeichen+Schreiber werden jedoch bei 64 Koeffizienten erheblich verbessert.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	99,44%	100,00%	100,00%	100,00%	66,67%
Schreiber	100,00%	86,67%	87,22%	87,22%	85,56%	60,00%
Zeichen+ Schreiber	100,00%	86,11%	87,22%	87,22%	85,56%	47,78%

Tabelle 9: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen

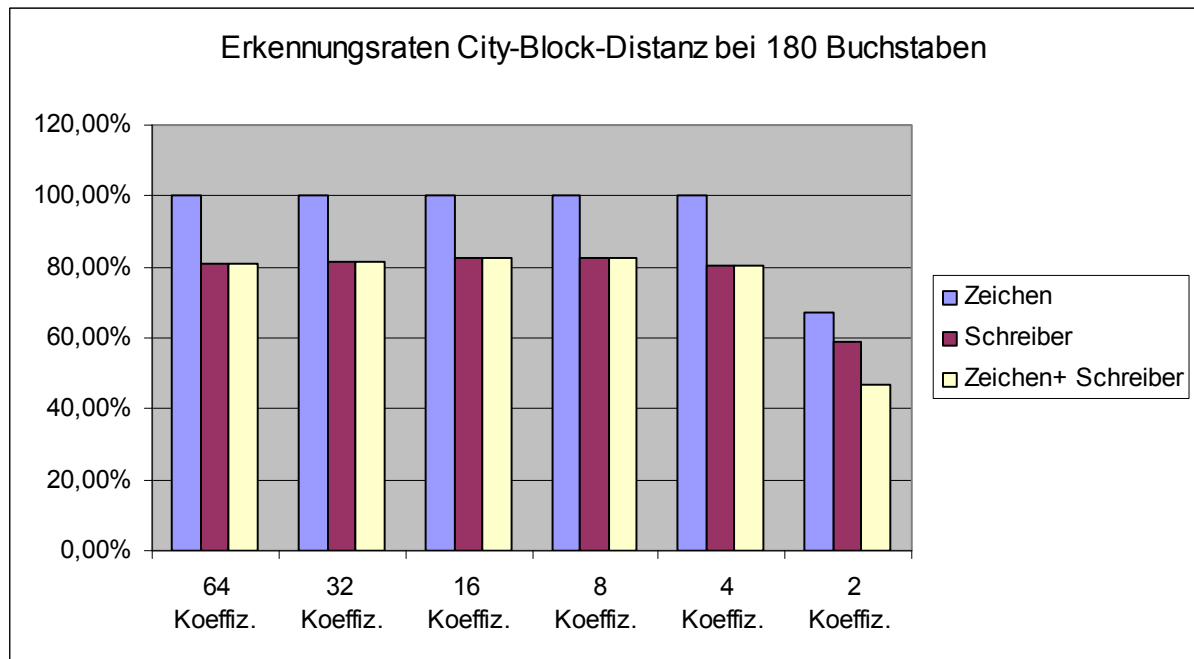


Diagramm 12: Erkennungsraten City-Block-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung

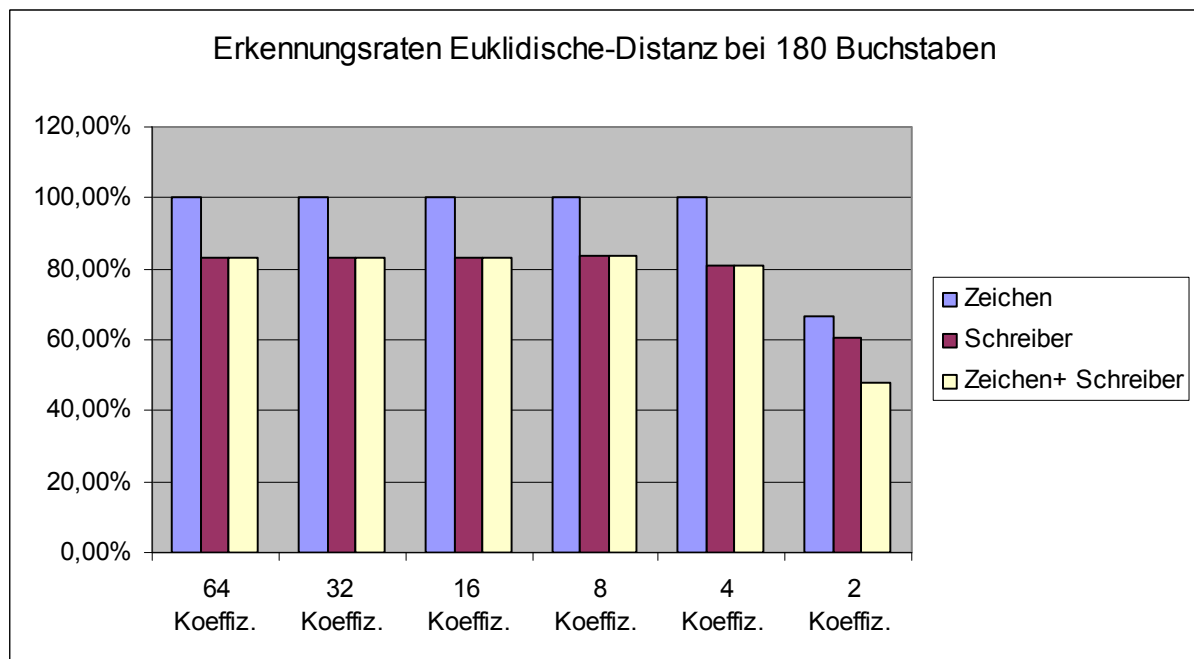
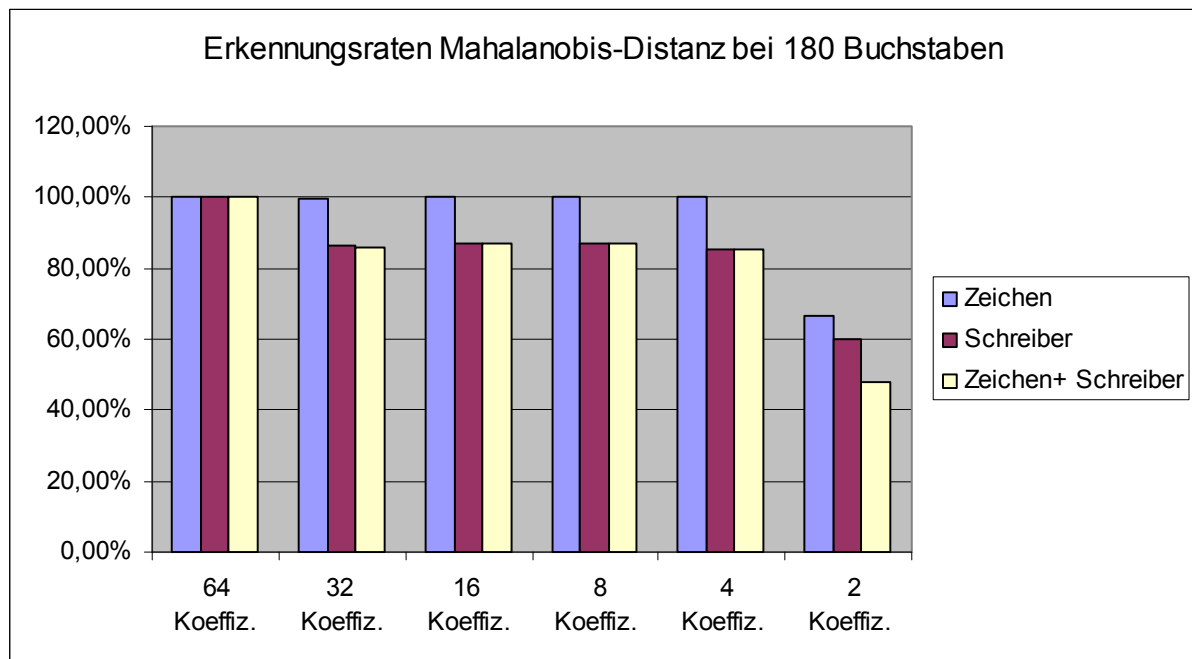


Diagramm 13: Erkennungsraten Euklidische-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung



**Diagramm 14: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**

Die Normierung der Koeffizienten, um eine Skalierungsinvarianz zu gewährleisten, führt bei allen dreien Distanzberechnungs-Arten zu einer leichten Verschlechterung der Erkennungsraten der Zeichen (Tabellen 10 bis 12). Bei der City-Block-Distanz steigen dafür die Raten der anderen beiden Kategorien, während die Werte bei Euklidischer- und Mahalanobis-Distanz annähernd konstant bleiben. Zur Veranschaulichung ist eine Gegenüberstellung der Ergebnisse für 64 Koeffizienten normiert/unnormiert im Diagramm 15 dargestellt.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	96,67%	97,22%	96,67%	99,44%	97,78%	65,00%
Schreiber	87,22%	88,33%	86,11%	86,67%	85,00%	56,67%
Zeichen+ Schreiber	86,11%	87,22%	84,44%	86,11%	82,78%	45,00%

Tabelle 10: Ergebnisse Fourier-Vergleich City-Block 180 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,44%	98,89%	99,44%	99,44%	98,33%	61,11%
Schreiber	83,33%	83,33%	85,00%	84,44%	83,89%	55,56%
Zeichen+ Schreiber	83,33%	83,33%	84,44%	83,89%	82,78%	42,22%

Tabelle 11: Ergebnisse Fourier-Vergleich Euklid 180 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	98,33%	98,33%	96,67%	94,44%	65,00%
Schreiber	98,89%	87,22%	87,22%	88,33%	82,22%	57,78%
Zeichen+ Schreiber	98,89%	85,56%	85,56%	86,11%	77,78%	45,00%

Tabelle 12: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen norm.

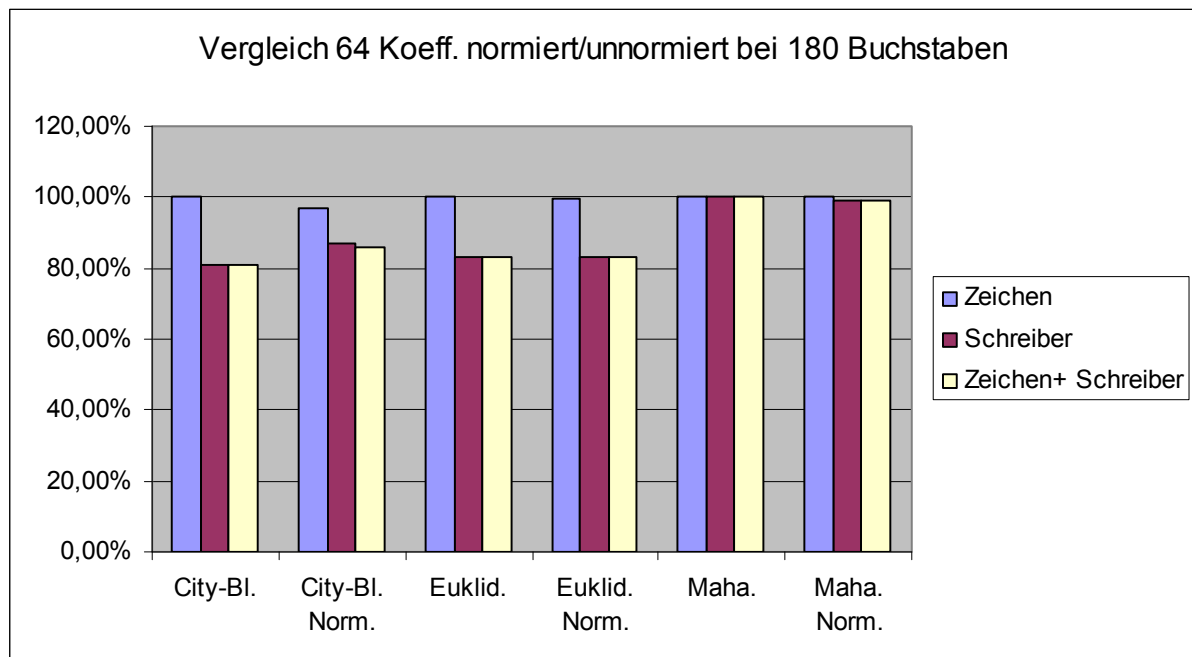


Diagramm 15: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert/unnormiert

In den Tabellen 13 bis 15 sind die Ergebnisse der Vergleiche mit 600 Zeichen ohne Normierung aufgeführt. Eine Erhöhung der Anzahl der Zeichen wirkt sich bei allen Distanz-Berechnungsarten kaum auf die Zeichenerkennungsraten aus. Die Raten der erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber nehmen dabei jedoch merklich ab. Die Variation der Koeffizientenanzahl zwischen 64 und 8 bringt bei der City-Block- und der Euklidischen-Distanz nur wenig Änderung bei

den Ergebnissen, während bei der Mahalanobis-Distanz größere Sprünge zu verzeichnen sind.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,67%	99,67%	99,83%	99,83%	99,50%	59,17%
Schreiber	73,50%	73,33%	75,17%	74,33%	69,33%	27,33%
Zeichen+ Schreiber	73,33%	73,17%	75,17%	74,33%	69,33%	22,33%

Tabelle 13: Ergebnisse Fourier-Vergleich City-Block 600 Zeichen

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,83%	99,83%	99,83%	99,83%	99,67%	60,17%
Schreiber	73,67%	73,83%	73,00%	72,67%	67,50%	29,33%
Zeichen+ Schreiber	73,67%	73,83%	73,00%	72,67%	67,50%	24,00%

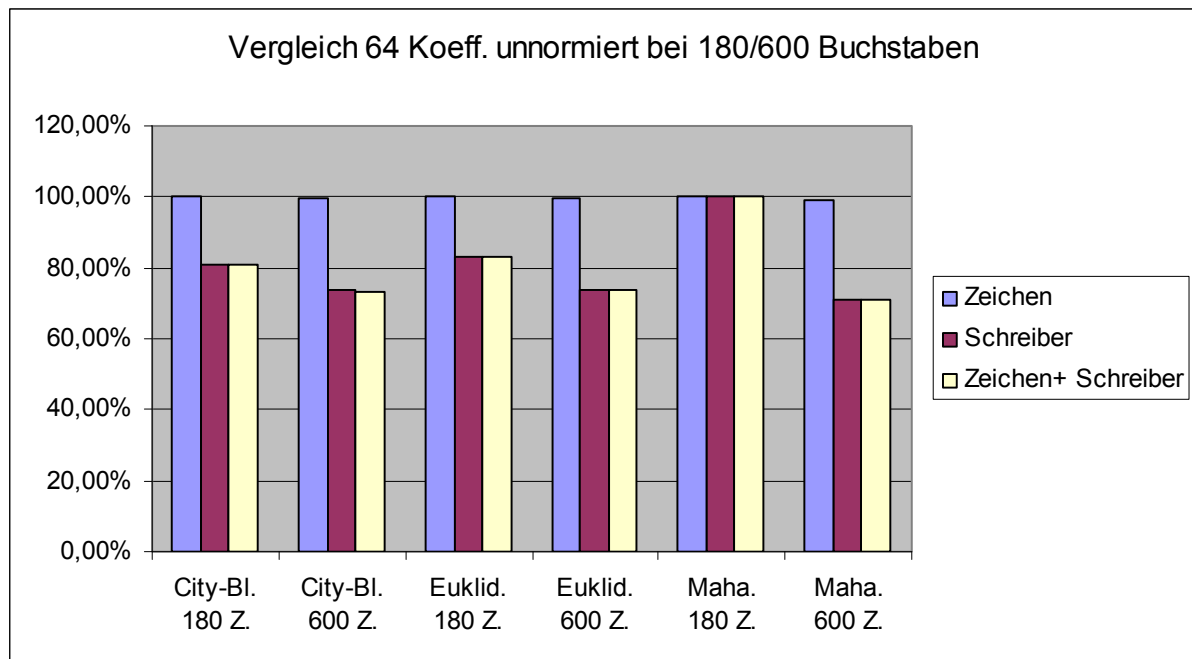
Tabelle 14: Ergebnisse Fourier-Vergleich mit Euklid 600 Zeichen

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,33%	99,50%	99,67%	99,83%	99,83%	59,50%
Schreiber	71,00%	69,00%	74,67%	78,33%	72,33%	27,33%
Zeichen+ Schreiber	70,83%	68,67%	74,67%	78,33%	72,33%	22,50%

Tabelle 15: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen

In Diagramm 16 sind die Veränderungen der Erkennungsraten bei 64 Koeffizienten zwischen 180 und 600 verwendeten Zeichen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die größte Änderung der Werte bei Verwendung der Mahalanobis-Distanz erreicht wird. Die Rate bei den Kategorien Schreiber und Zeichen+Schreiber nimmt hierbei um fast 30 Prozent ab.





**Diagramm 16: Vergleich Ergebnisse 64 Koeff. unnormiert 180/600 Buchstaben**

Durch die Normierung der Koeffizienten werden auch bei 600 Buchstaben die Erkennungsraten der Zeichen kaum beeinflusst (Tabellen 16 bis 18). Die Werte für die Schreiber und Zeichen+Schreiber fallen jeweils um bis zu 10,33% ab (Mahalanobis). Als Vergleich sind die Ergebnisse für 64 normierte/unnormierte Koeffizienten im Diagramm 17 graphisch dargestellt.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,17%	99,50%	99,33%	99,50%	97,83%	50,67%
Schreiber	69,67%	69,00%	69,33%	70,00%	63,17%	20,33%
Zeichen+ Schreiber	69,33%	68,83%	69,00%	69,83%	62,50%	16,00%

Tabelle 16: Ergebnisse Fourier-Vergleich City-Block 600 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,67%	99,83%	99,67%	99,67%	98,00%	50,67%
Schreiber	66,00%	66,33%	66,00%	66,67%	62,17%	21,33%
Zeichen+ Schreiber	66,00%	66,33%	65,83%	66,50%	61,50%	16,50%

Tabelle 17: Ergebnisse Fourier-Vergleich Euklid 600 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,00%	97,57%	97,33%	98,00%	96,17%	50,17%
Schreiber	61,00%	61,00%	64,33%	64,17%	58,33%	20,83%
Zeichen+ Schreiber	60,50%	60,67%	63,67%	63,50%	57,17%	15,00%

Tabelle 18: Ergebnisse Fourier-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen norm.

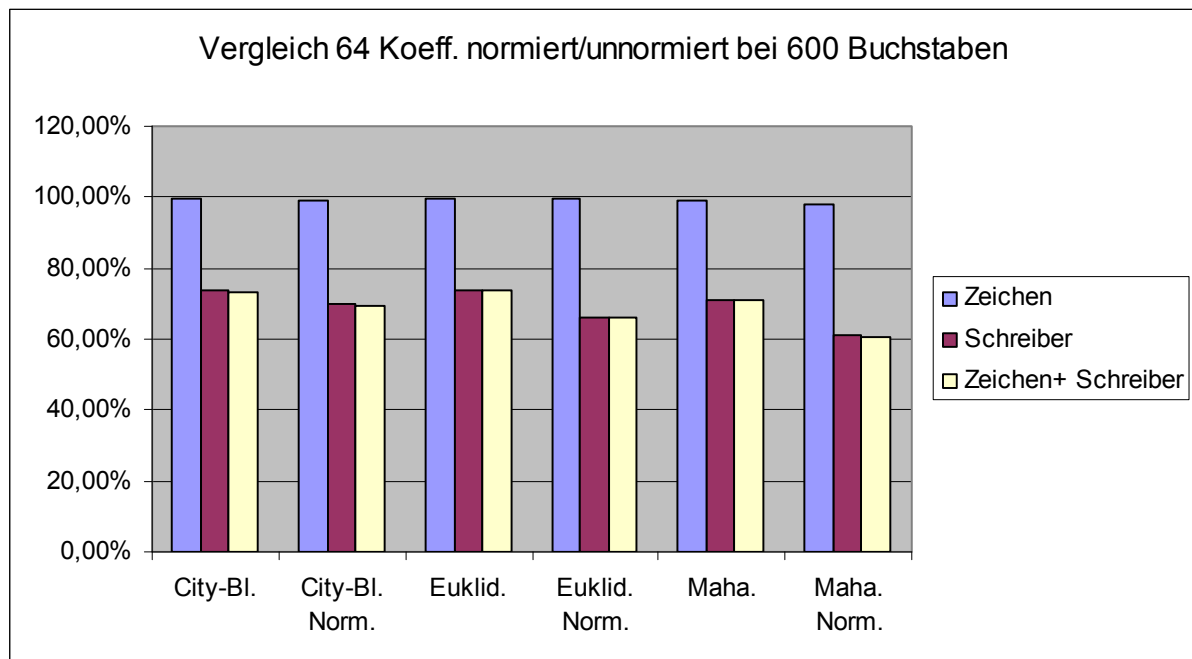
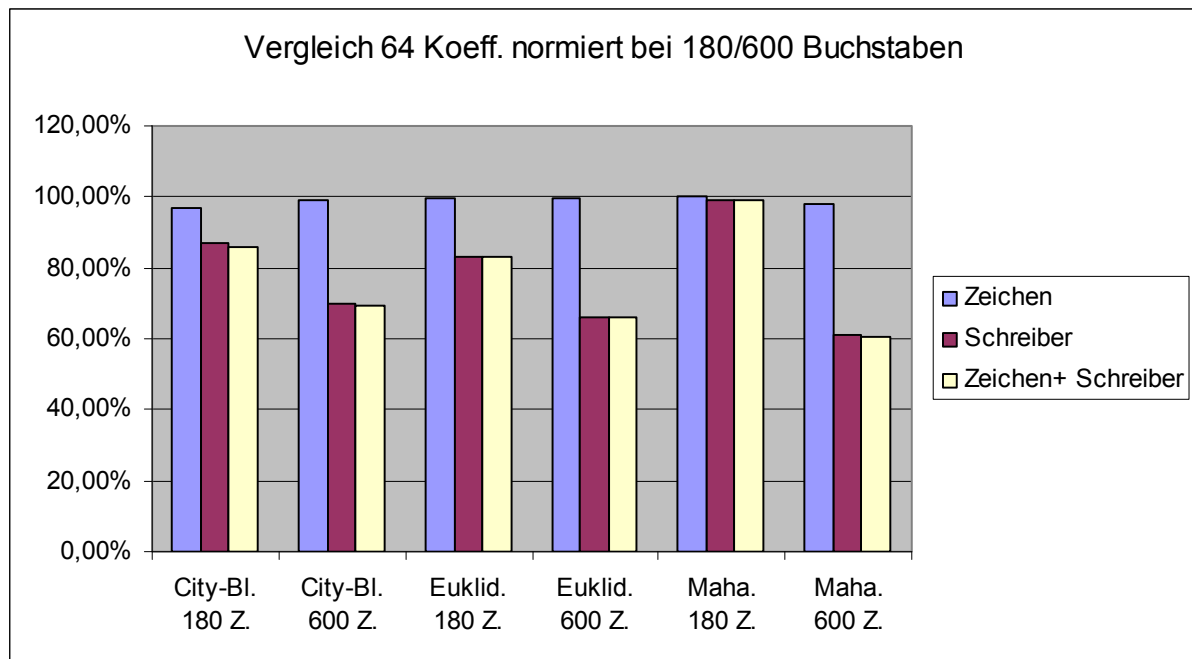


Diagramm 17: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert/unnormiert

Das Diagramm 18 zeigt die Unterschiede der Ergebnisse bei Verwendung von 180 und 600 Buchstaben mit 64 normierten Koeffizienten. Auch hier bleiben die Erkennungsraten der Zeichen annähernd konstant, während die Raten für Schreiber und Zeichen+Schreiber abfallen. Die höchsten Einbußen sind bei Verwendung der Mahalanobis-Distanz zu verzeichnen.



**Diagramm 18: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert 180/600 Buchstaben**

Bei allen Variationsmöglichkeiten dieser Vergleichsmethode liegen die Zeichenerkennungsraten auf hohem Niveau. Unterschiede zeigen sich bei den Kategorien Schreiber und Zeichen+Schreiber. Bei 64 Koeffizienten und 180 Buchstaben werden durch die Mahalanobis-Distanz mit 100% die höchsten Werte erreicht. Durch die Erhöhung auf 600 Zeichen gleichen sich die Erkennungsraten der drei Distanz-Berechnungsarten mehr aneinander an. Die Normierung der Koeffizienten führt zu einer weiteren Verringerung der Werte.

### 2.6.3 Ergebnisse Chebychev-Polynome

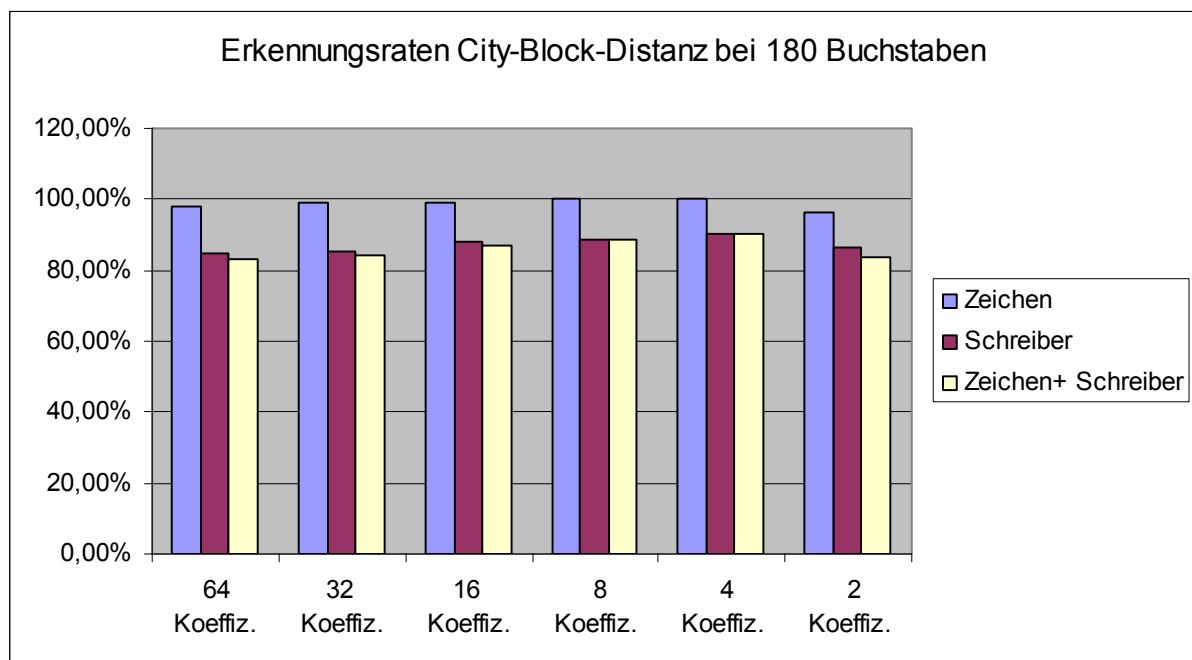
Um die Erkennungsraten der Chebychev-Approximation zu erhalten, werden die Koeffizienten in variabler Anzahl von 64 bis 2, jeweils normiert und unnormiert mit Hilfe der drei Distanz-Berechnungsmethoden miteinander verglichen.

Das Gegenüberstellen von den unnormierten Chebychev-Koeffizienten bei 180 Zeichen führt zu den in Tabellen 19 bis 21 gezeigten Resultaten. Die Zeichenerkennungsraten liegen bei allen drei Distanz-Berechnungsmethoden

wieder auf ähnlich hohem Niveau. Bei der City-Block-Distanz werden die höchsten Werte der erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber mit 4 Koeffizienten erreicht. Mit zunehmender Koeffizientenanzahl nehmen die Erkennungsraten wieder ab (Diagramm 19).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	97,78%	98,89%	98,89%	100,00%	100,00%	96,11%
Schreiber	85,00%	85,56%	88,33%	88,89%	90,00%	86,67%
Zeichen+ Schreiber	83,33%	84,44%	87,22%	88,89%	90,00%	83,89%

Tabelle 19: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 180 Zeichen

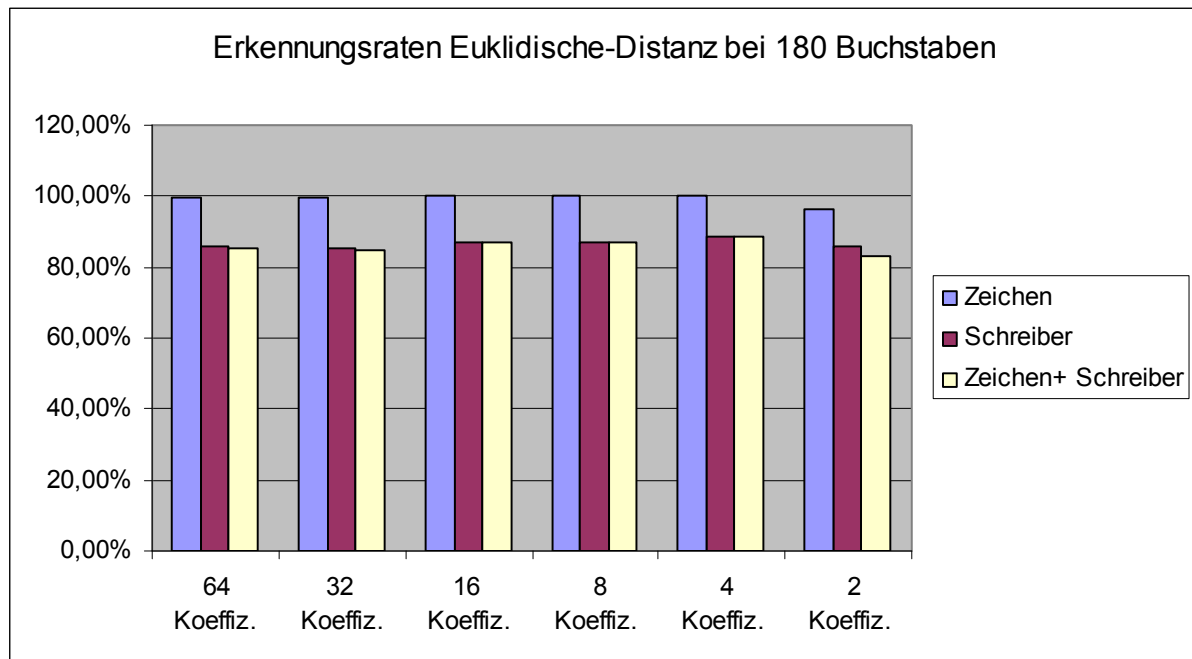


**Diagramm 19: Erkennungsraten City-Block-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**

Die Erkennungsraten der Kategorien Schreiber und Zeichen+Schreiber liegen bei der Euklidischen-Distanz zwischen 83,33 und 88,89 Prozent. Wie bei der City-Block-Distanz wird der Höchstwert mit nur 4 Koeffizienten erreicht (Diagramm 20).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,44%	99,44%	100,00%	100,00%	100,00%	96,11%
Schreiber	86,11%	85,56%	87,22%	87,22%	88,89%	86,11%
Zeichen+ Schreiber	85,56%	85,00%	87,22%	87,22%	88,89%	83,33%

Tabelle 20: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 180 Zeichen

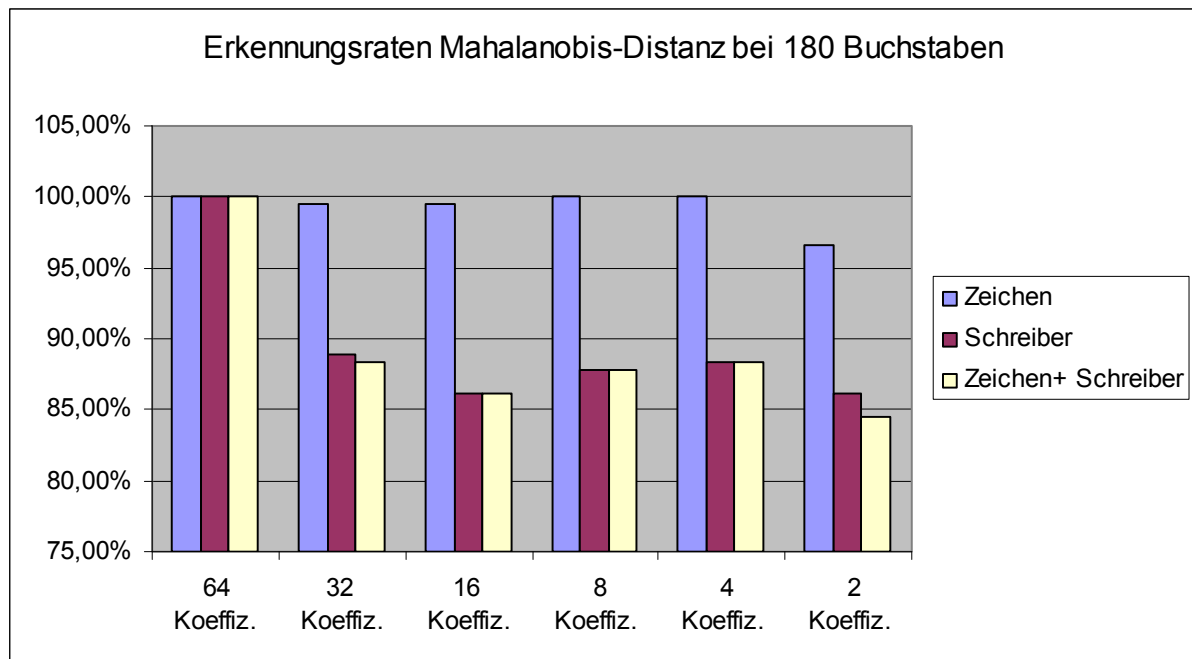


**Diagramm 20: Erkennungsraten Euklidische-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**

Durch die Mahalanobis-Distanz werden die Ergebnisse der richtig erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber bei Verwendung von 64 Koeffizienten deutlich verbessert. Bei weniger Koeffizienten fallen die Werte auf das Niveau der City-Block- und Euklidischen-Distanz zurück (Diagramm 21).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	99,44%	99,44%	100,00%	100,00%	96,67%
Schreiber	100,00%	88,89%	86,11%	87,78%	88,33%	86,11%
Zeichen+ Schreiber	100,00%	88,33%	86,11%	87,78%	88,33%	84,44%

Tabelle 21: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen



**Diagramm 21: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**

Die Normierung der Koeffizienten führt schon wie bei dem Vergleich der Fourier-Koeffizienten zu einer Absenkung der Erkennungsraten (Tabelle 22 bis 24). Am geringsten fallen diese bei 64 Koeffizienten mit der Mahalanobis-Distanz aus (Diagramm 22).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	93,33%	97,78%	97,78%	98,33%	98,33%	90,56%
Schreiber	75,56%	77,22%	84,44%	85,56%	82,22%	68,89%
Zeichen+ Schreiber	72,22%	76,67%	83,89%	85,56%	82,22%	67,22%

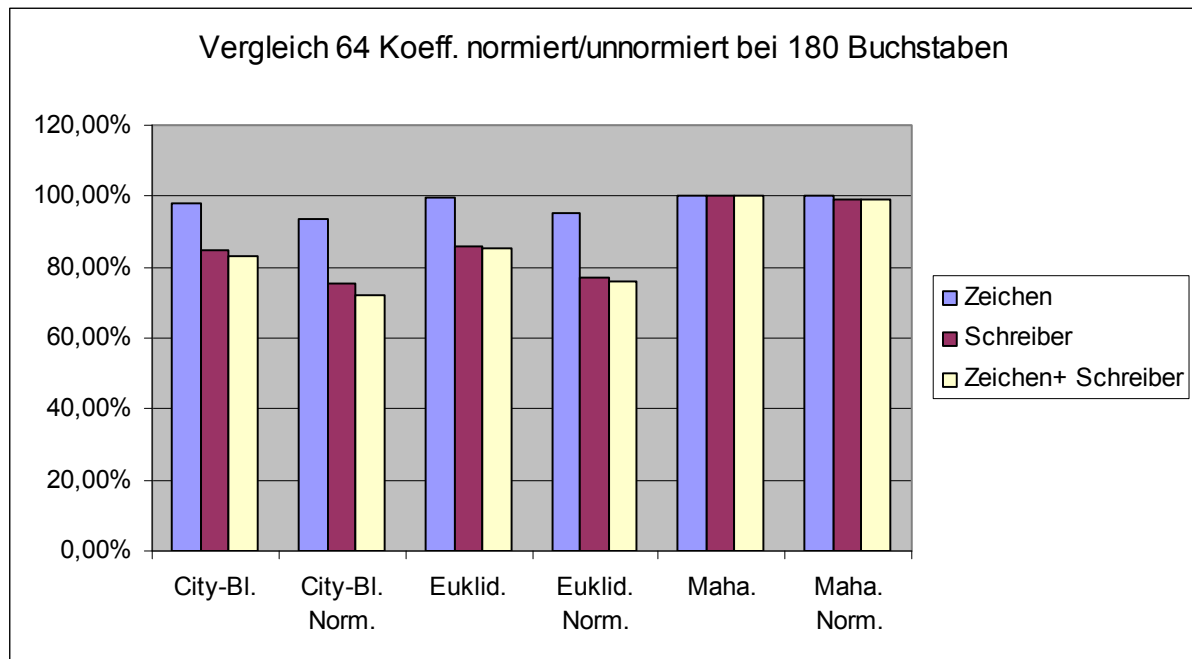
Tabelle 22: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 180 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	95,00%	96,11%	97,22%	97,22%	97,22%	88,33%
Schreiber	77,22%	80,00%	81,67%	82,78%	82,78%	64,44%
Zeichen+ Schreiber	76,11%	78,89%	81,11%	82,22%	81,67%	62,22%

Tabelle 23: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 180 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	99,44%	100,00%	98,33%	95,56%	86,11%
Schreiber	98,89%	83,89%	81,67%	84,44%	80,56%	72,78%
Zeichen+ Schreiber	98,89%	83,33%	81,67%	84,44%	78,89%	67,78%

Tabelle 24: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen norm.



**Diagramm 22: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert/unnormiert**

Die Auswirkung einer Erhöhung der Schriftproben auf 600 ohne Normierung der Koeffizienten führt zu den in den Tabellen 25 bis 27 dargestellten Ergebnissen. Allgemein fallen die Änderungen der Zeichenerkennungsraten im Vergleich zu 180 verwendeten Zeichen gering aus. Die Werte für die erkannten Schreiber und Zeichen+Schreiber fallen jedoch merklich ab. Die größten Verringerungen der Raten, mit über 27 Prozent sind bei der Mahalanobis-Distanz und 64 Koeffizienten zu verzeichnen. Eine Gegenüberstellung der Werte bei 64 Koeffizienten ist im Diagramm 23 dargestellt.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,83%	99,50%	99,67%	100,00%	100,00%	95,83%
Schreiber	67,33%	70,50%	75,83%	76,83%	74,67%	64,83%
Zeichen+ Schreiber	67,00%	70,17%	75,50%	76,83%	74,67%	63,83%

Tabelle 25: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 600 Zeichen

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,67%	99,67%	100,00%	100,00%	99,67%	95,83%
Schreiber	73,33%	75,33%	77,00%	76,67%	73,83%	65,17%
Zeichen+ Schreiber	73,17%	75,17%	77,00%	76,67%	73,83%	64,17%

Tabelle 26: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 600 Zeichen

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,67%	99,50%	99,67%	100,00%	100,00%	96,83%
Schreiber	72,50%	72,67%	78,67%	79,83%	77,33%	67,00%
Zeichen+ Schreiber	72,50%	72,50%	78,50%	79,83%	77,33%	66,17%

Tabelle 27: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen

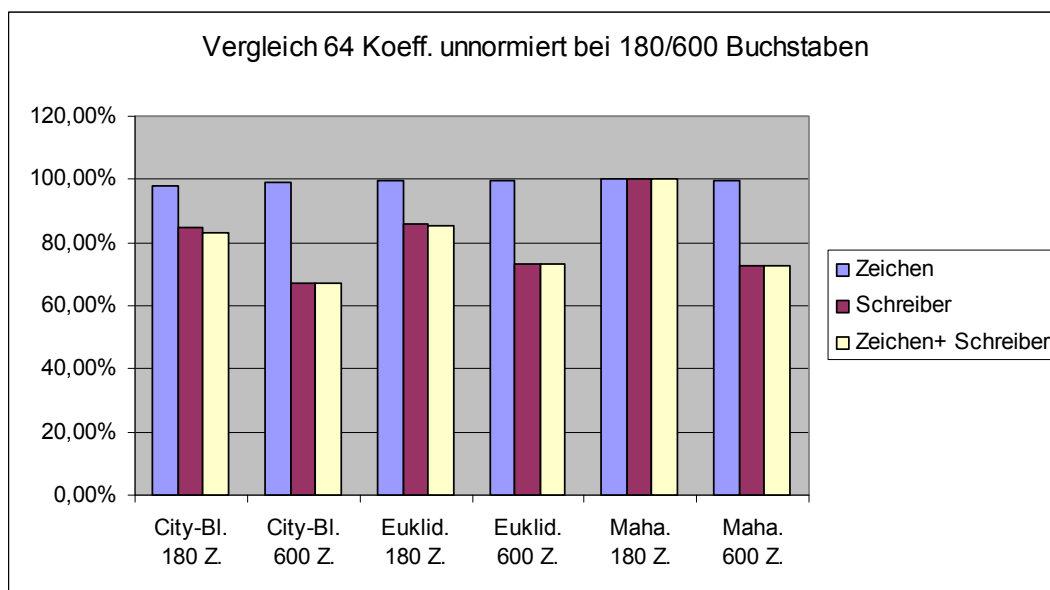


Diagramm 23: Vergleich Ergebnisse 64 Chebychev-Koeff. unnormiert 180/600 Buchstaben



Eine Normierung der Koeffizienten führt zu einer weiteren Verringerung der Erkennungsraten (Tabellen 28 bis 30). Die geringsten Änderungen sind bei der Verwendung von 8 Koeffizienten zu verzeichnen (Diagramm 24).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,00%	99,17%	99,17%	99,33%	98,67%	89,33%
Schreiber	59,17%	66,83%	72,33%	74,17%	70,00%	52,33%
Zeichen+ Schreiber	58,67%	66,67%	72,33%	74,17%	70,00%	50,83%

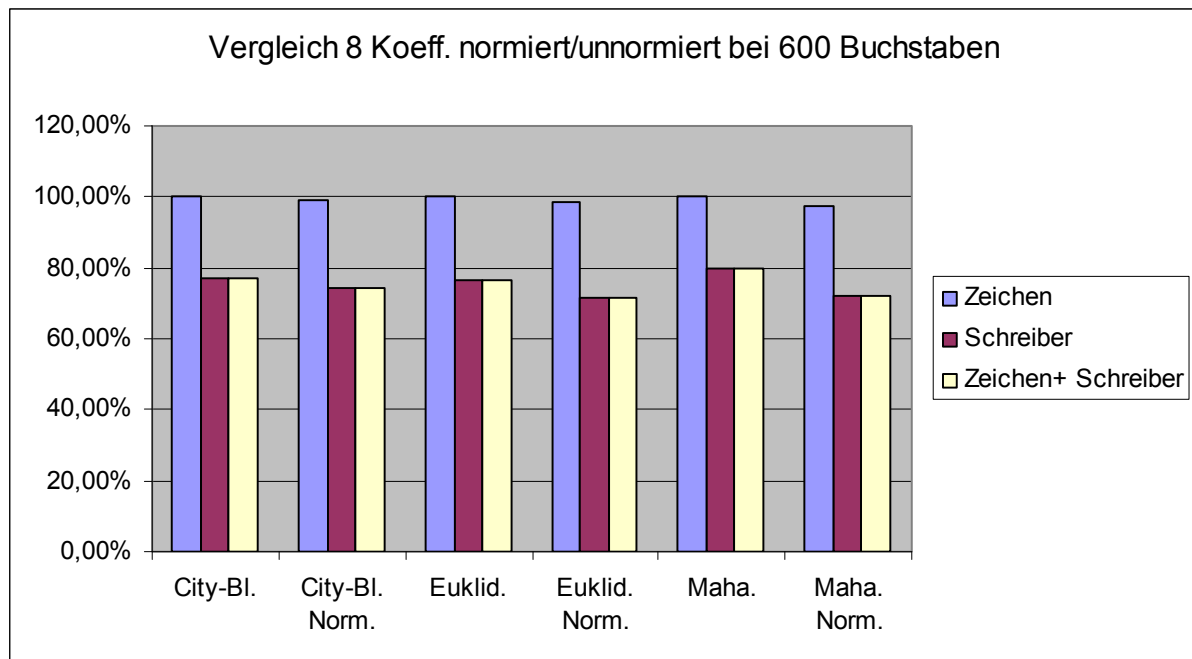
Tabelle 28: Ergebnisse Chebychev-Vergleich City-Block 600 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,00%	98,67%	98,50%	98,67%	98,17%	86,33%
Schreiber	64,33%	69,00%	72,33%	71,67%	65,67%	49,67%
Zeichen+ Schreiber	63,67%	68,83%	72,00%	71,67%	65,00%	47,67%

Tabelle 29: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Euklid 600 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,17%	97,33%	97,50%	97,33%	91,33%	85,33%
Schreiber	60,83%	59,83%	65,83%	72,33%	64,17%	51,00%
Zeichen+ Schreiber	60,33%	59,67%	65,67%	72,00%	62,00%	49,00%

Tabelle 30: Ergebnisse Chebychev-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen norm.



**Diagramm 24: Gegenüberstellung Ergebnisse 8 Chebychev-Koeffizienten normiert/unnormiert**

## 2.6.4 Ergebnisse Kreuzkorrelation

Bei dem Vergleich durch Kreuzkorrelation werden die Ergebnisse für auf 96, 64, 32, 16, 8 und 4 Punkte reduzierte Zeichen erfasst. Die Werte der erkannten Zeichen liegen dabei durchweg bei weit über 90 Prozent, während die Raten der gefundenen „Zeichen+Schreiber“ zwischen 82,22% und 86,11% variieren (Tabelle 31). Eine Erhöhung der Punktzahl von z.B. 16 auf 32 bringt keine Verbesserung.

	96 Punkte	64 Punkte	32 Punkte	16 Punkte	8 Punkte	4 Punkte
Zeichen	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	96,11%
Schreiber	85,00%	85,00%	85,55%	86,11%	83,89%	84,44%
Zeichen+ Schreiber	85,00%	85,00%	85,55%	86,11%	83,89%	82,22%

Tabelle 31: Ergebnisse Kreuzkorrelation 180 Zeichen

Ein weiterer Durchlauf der Vergleiche mit Normierung der Zeichengrößen bringt die in Tabelle 32 gezeigten Ergebnisse. Die dadurch erreichten

Erkennungsraten liegen nur zwischen 3,33 und 7,22 Prozent unter denen ohne Normierung.

	96 Punkte	64 Punkte	32 Punkte	16 Punkte	8 Punkte	4 Punkte
Zeichen	99,44%	99,44%	99,44%	100,00%	100,00%	96,67%
Schreiber	78,33%	78,33%	78,89%	78,89%	79,44%	80,55%
Zeichen+ Schreiber	77,78%	77,78%	78,33%	78,89%	79,44%	78,89%

Tabelle 32: Ergebnisse Kreuzkorrelation 180 Zeichen norm.

Durch die Erhöhung der zu vergleichenden Zeichen auf 600 werden die Erkennungsraten, wie schon bei den anderen Methoden, herabgesenkt. Die Änderungen betragen bei den erkannten Zeichen+Schreiber fast 10 Prozent. Auf die Anzahl der erkannten Zeichen hat es jedoch so gut wie keine Auswirkung (Tabelle 33).

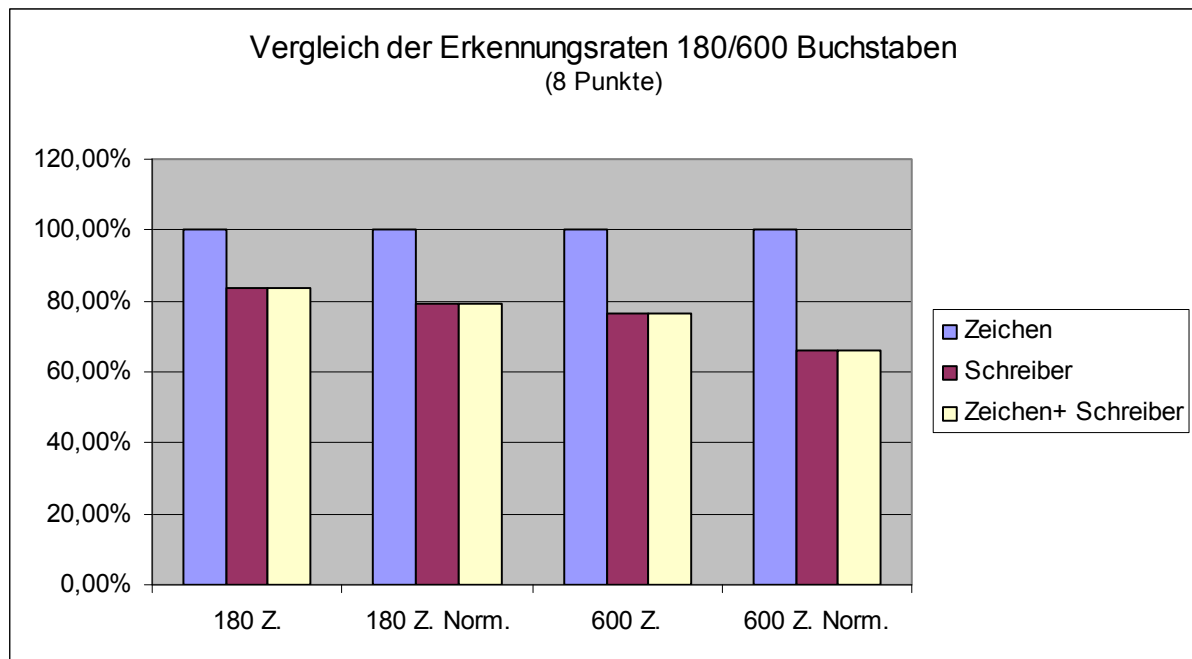
	96 Punkte	64 Punkte	32 Punkte	16 Punkte	8 Punkte	4 Punkte
Zeichen	99,67%	99,67%	100,00%	100,00%	100,00%	98,33%
Schreiber	76,33%	76,50%	76,83%	77,17%	76,33%	73,00%
Zeichen+ Schreiber	76,33%	76,50%	76,83%	77,17%	76,33%	72,17%

Tabelle 33: Ergebnisse Kreuzkorrelation 600 Zeichen

Wird zusätzlich noch eine Normierung der Zeichen durchgeführt, verringern sich die Erkennungsraten der Kategorien Zeichen+Schreiber noch weiter. Die Abhängigkeit der Erkennungsraten von den Schriftproben und der Normierung bei auf 8 Punkten reduzierten Zeichen ist in Diagramm 25 dargestellt.

	96 Punkte	64 Punkte	32 Punkte	16 Punkte	8 Punkte	4 Punkte
Zeichen	99,50%	99,50%	99,67%	100,00%	100,00%	97,67%
Schreiber	63,83%	64,67%	65,33%	65,50%	65,83%	59,17%
Zeichen+ Schreiber	63,83%	64,67%	65,33%	65,50%	65,83%	59,00%

Tabelle 34: Ergebnisse Kreuzkorrelation 600 Zeichen norm.



**Diagramm 25: Abhängigkeit der Erkennungsraten 180/600 Zeichen normiert/unnormiert**

Dieses Verfahren zeigt eine annähernde Unabhängigkeit der Ergebnisse von den Punktzahlen, auf denen die Zeichen reduziert werden. Durch Normierung und Erhöhung der Zeichenanzahl sinken die Erkennungsraten der Schreiber und Zeichen+Schreiber jedoch wie bei allen vorigen Methoden ab.

## 2.6.5 Ergebnisse Legendre-Polynome

Die Einstellungen bei dem ersten Teil der Testreihe sind identisch zu denen des Fourier-Koeffizienten-Vergleiches, also 2 bis 64 Koeffizienten und drei Durchgänge mit den verschiedenen Distanzberechnungsarten. Die dabei ermittelten Ergebnisse sind in den Tabellen 35 bis 37 dargestellt.

Allgemein liegen die Raten der erkannten Zeichen bei Verwendung von 4 bis 64 Koeffizienten im Bereich zwischen 97,78 und 100%, also auf sehr hohem Niveau. Mit der City-Block-Distanz werden dabei in den Kategorien „Schreiber“ und „Zeichen+Schreiber“ Werte zwischen 81,11 und 86,67 Prozent erreicht. Wenn nur 2 Koeffizienten zum Vergleich benutzt werden, fallen die Erkennungsraten deutlich ab (Tabelle 35 und Diagramm 26).

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	100,00%	97,78%	97,78%	73,33%
Schreiber	83,89%	86,11%	86,67%	83,33%	83,33%	61,67%
Zeichen+ Schreiber	83,89%	86,11%	86,67%	81,11%	81,11%	50,00%

Tabelle 35: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 180 Zeichen

Die mit der Euklidischen-Distanz erzielten Ergebnisse weichen nur unwesentlich von denen der City-Block-Distanz ab (Tabelle 36). Die Werte sind in Diagramm 27 graphisch dargestellt.

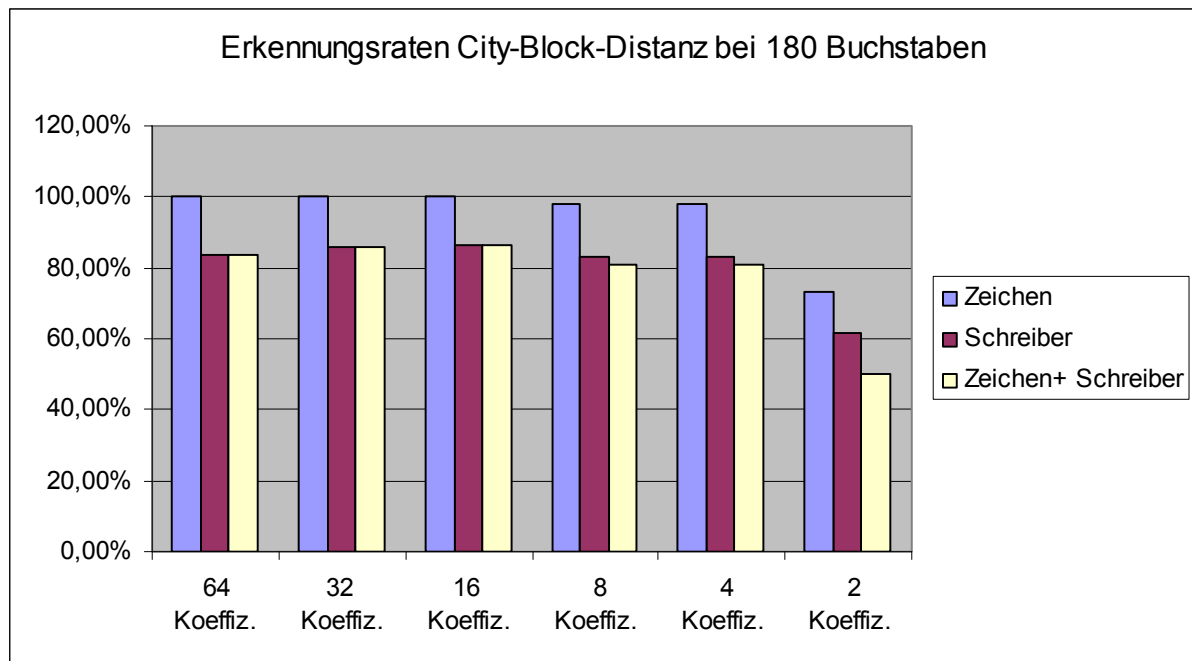
	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	98,33%	98,33%	98,33%	73,88%
Schreiber	84,44%	85,56%	85,00%	85,00%	83,89%	61,11%
Zeichen+ Schreiber	84,44%	85,56%	83,33%	83,33%	82,22%	50,00%

Tabelle 36: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 180 Zeichen

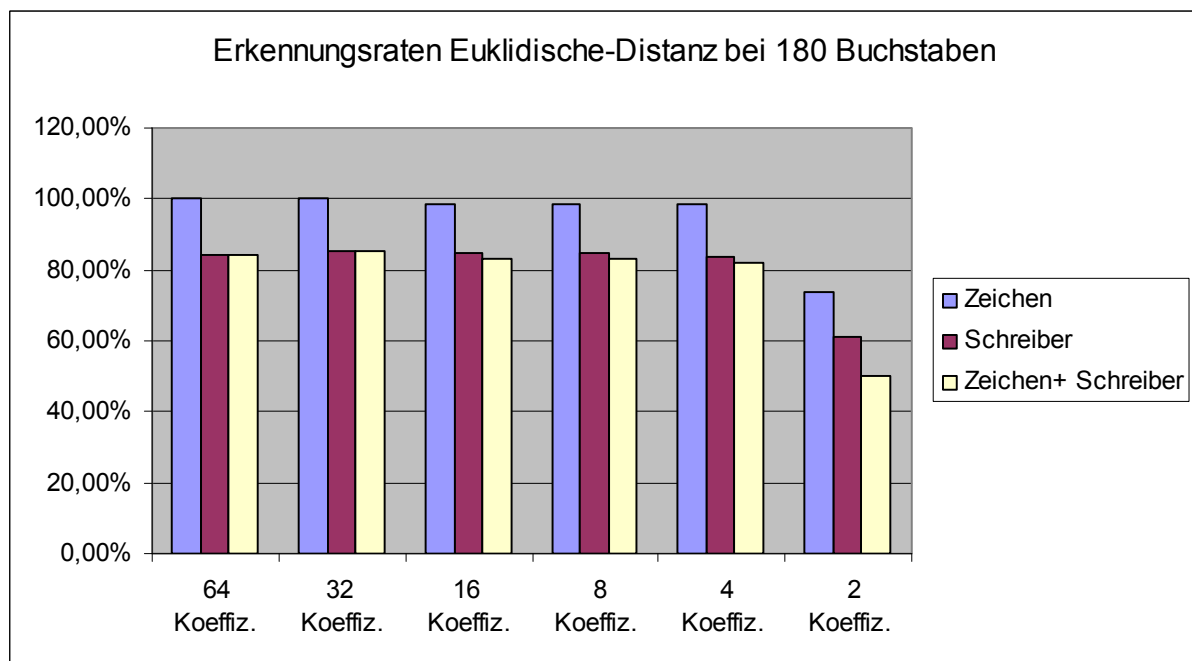
Bei den mit 64 Koeffizienten ermittelten Resultaten der Zeilen „Schreiber“ und „Zeichen+Schreiber“ hebt sich die Mahalanobis-Distanz mit deutlich besseren Erkennungsraten von City-Block und Euklid ab (Tabelle 37). Die Werte der meisten anderen untersuchten Koeffizientenanzahlen weisen noch leichte Verbesserungen auf, während die von 2 Koeffizienten bei allen etwa gleichauf liegen.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	100,00%	98,89%	97,78%	74,44%
Schreiber	100,00%	87,22%	89,44%	90,56%	88,33%	61,11%
Zeichen+ Schreiber	100,00%	87,22%	89,44%	89,44%	86,11%	51,67%

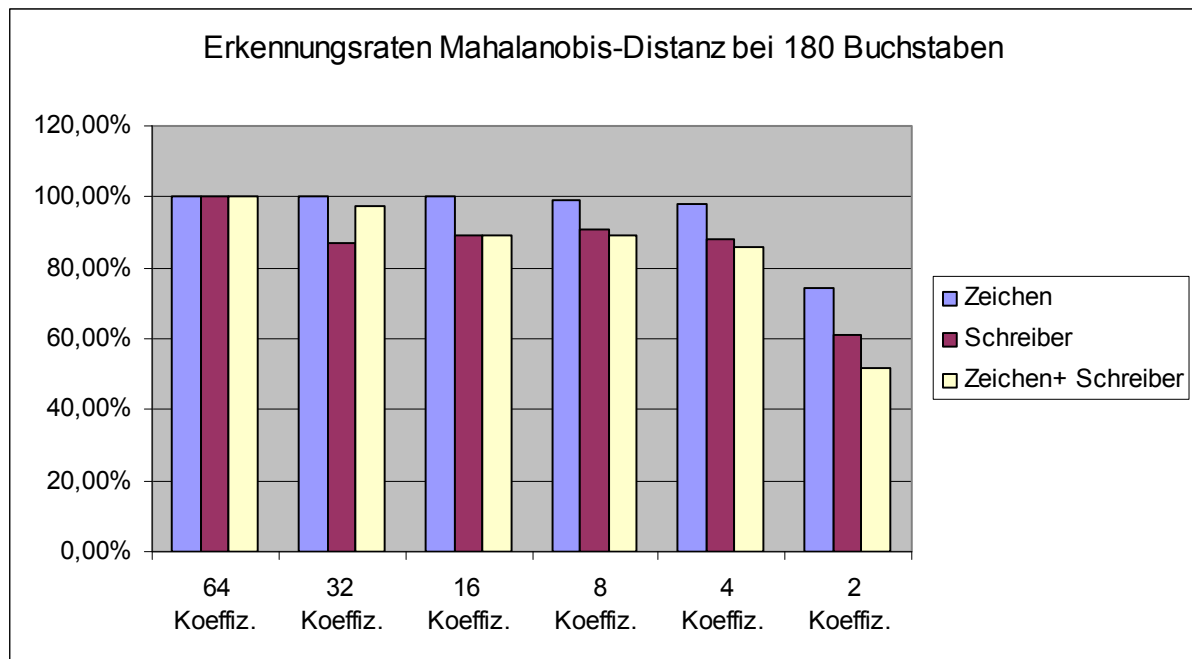
Tabelle 37: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen



**Diagramm 26: Erkennungsraten City-Block-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**



**Diagramm 27: Erkennungsraten Euklidische-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**



**Diagramm 28: Erkennungsraten Mahalanobis-Distanz 180 Zeichen ohne Normierung**

Die Normierung der Koeffizienten führt bei 180 Zeichen zu den in den Tabellen 38 bis 40 gezeigten Ergebnissen. Wie die Darstellung im Diagramm 29 zeigt, fallen bei 64 Koeffizienten die durch die Normierung hervorgerufenen Änderungen gering aus.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,33%	98,89%	99,44%	100,00%	100,00%	51,67%
Schreiber	85,00%	84,44%	83,33%	81,67%	77,78%	40,00%
Zeichen+ Schreiber	84,44%	84,44%	83,33%	81,67%	77,78%	22,22%

Tabelle 38: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 180 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	98,33%	98,89%	98,89%	100,00%	99,44%	52,22%
Schreiber	82,22%	81,11%	81,11%	81,11%	76,67%	40,56%
Zeichen+ Schreiber	81,67%	81,11%	81,11%	81,11%	76,67%	23,33%

Tabelle 39: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 180 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	99,44%	98,33%	93,89%	50,00%
Schreiber	99,44%	88,89%	83,33%	82,78%	67,78%	38,89%
Zeichen+ Schreiber	99,44%	88,89%	82,78%	81,67%	65,56%	19,44%

Tabelle 40: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 180 Zeichen norm.

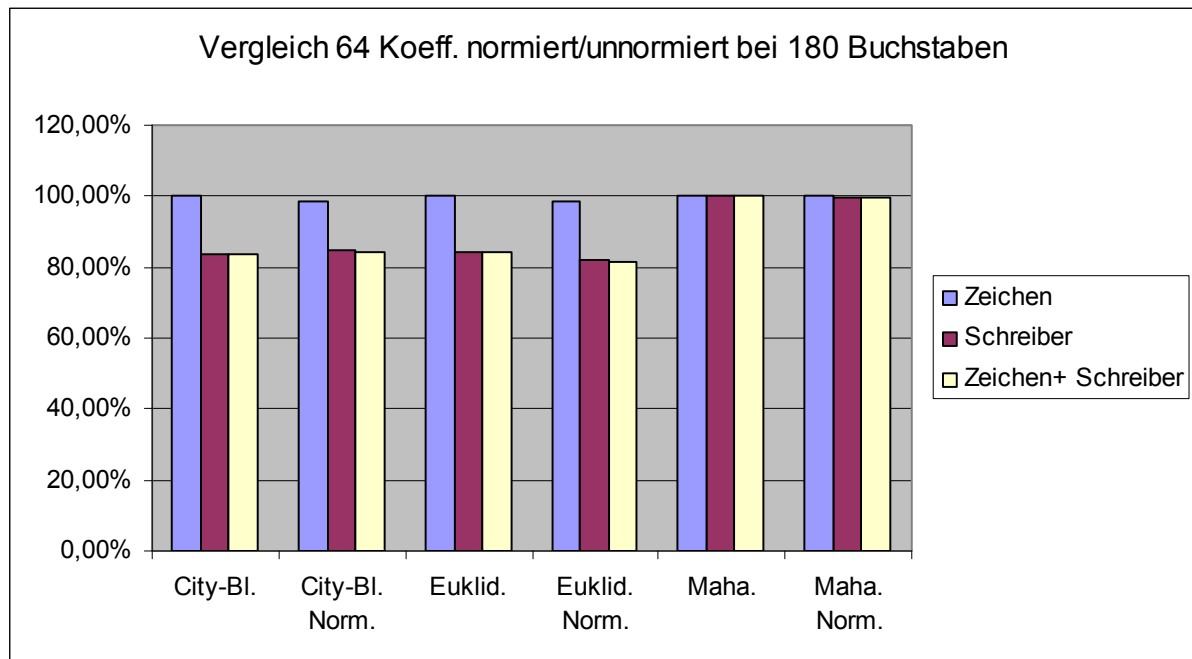


Diagramm 29: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Koeffizienten normiert/unnormiert

Eine Vergrößerung der Anzahl der Schriftproben auf 600 hat auch beim Vergleich der Legendre-Koeffizienten eine Verringerung der Erkennungsraten zur Folge. Während sich die Werte für die erkannten Zeichen nur unwesentlich ändern, fallen die Raten für die übereinstimmenden Schreiber und Zeichen+Schreiber um bis zu 34,67 Prozent ab. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse von 180 und 600 Zeichen bei 64 Koeffizienten ist im Diagramm 30 dargestellt. Darin ist zu erkennen, dass die Werte der Mahalanobis-Distanz deutlich sinken.



	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,83%	99,83%	99,50%	99,00%	98,50%	65,00%
Schreiber	74,50%	74,33%	75,50%	73,17%	67,83%	27,00%
Zeichen+ Schreiber	74,50%	74,33%	75,50%	72,50%	67,17%	22,17%

Tabelle 41: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 600 Zeichen

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,83%	99,83%	99,33%	99,17%	99,33%	65,83%
Schreiber	74,33%	75,00%	75,00%	72,67%	68,00%	26,83%
Zeichen+ Schreiber	74,33%	75,00%	74,50%	72,17%	67,50%	22,50%

Tabelle 42: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 600 Zeichen

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	100,00%	100,00%	100,00%	99,50%	99,50%	65,67%
Schreiber	78,00%	77,00%	80,66%	78,67%	73,50%	28,00%
Zeichen+ Schreiber	78,00%	77,00%	80,66%	78,33%	73,00%	23,67%

Tabelle 43: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen

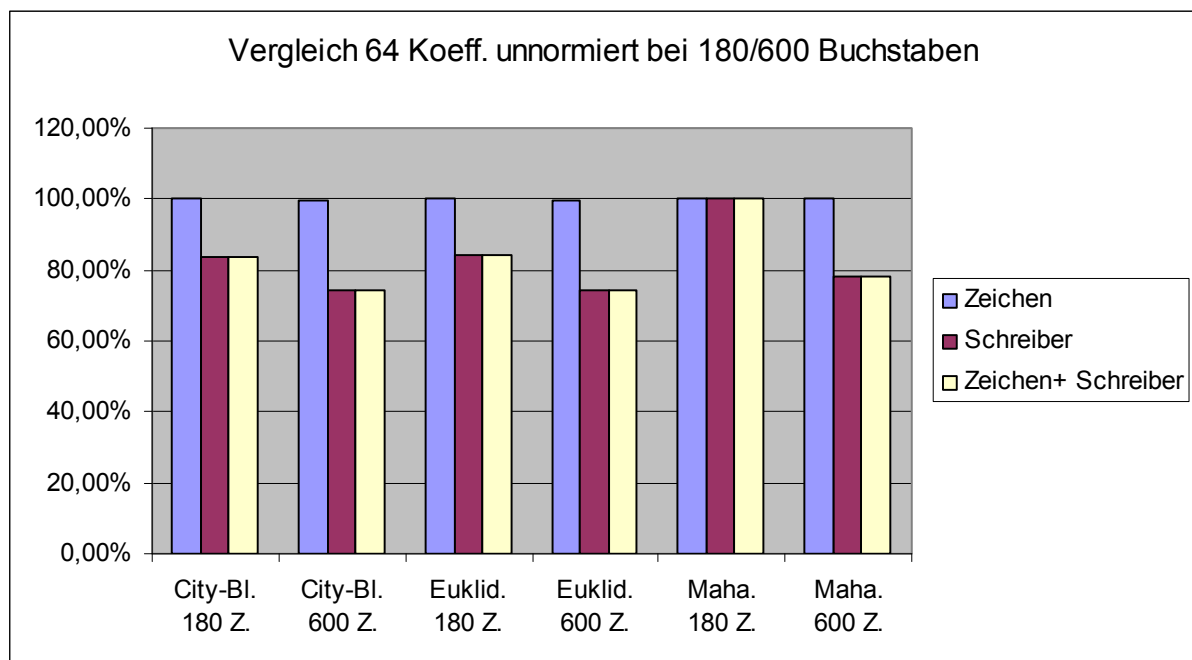


Diagramm 30: Vergleich Ergebnisse 64 Legendre-Koeff. unnormiert 180/600 Buchstaben

Über die Koeffizienten-Vergleiche mit Normierung werden die in den Tabellen 44 bis 46 aufgeführten Werte ermittelt. Die dabei entstehenden Abweichungen fallen bei 64 Koeffizienten am geringsten aus. Eine graphische Darstellung davon ist im Diagramm 31 zu sehen.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,83%	99,50%	99,67%	98,83%	97,33%	45,50%
Schreiber	73,67%	73,50%	73,00%	71,50%	58,50%	14,67%
Zeichen+ Schreiber	73,67%	73,50%	73,00%	71,50%	58,17%	9,00%

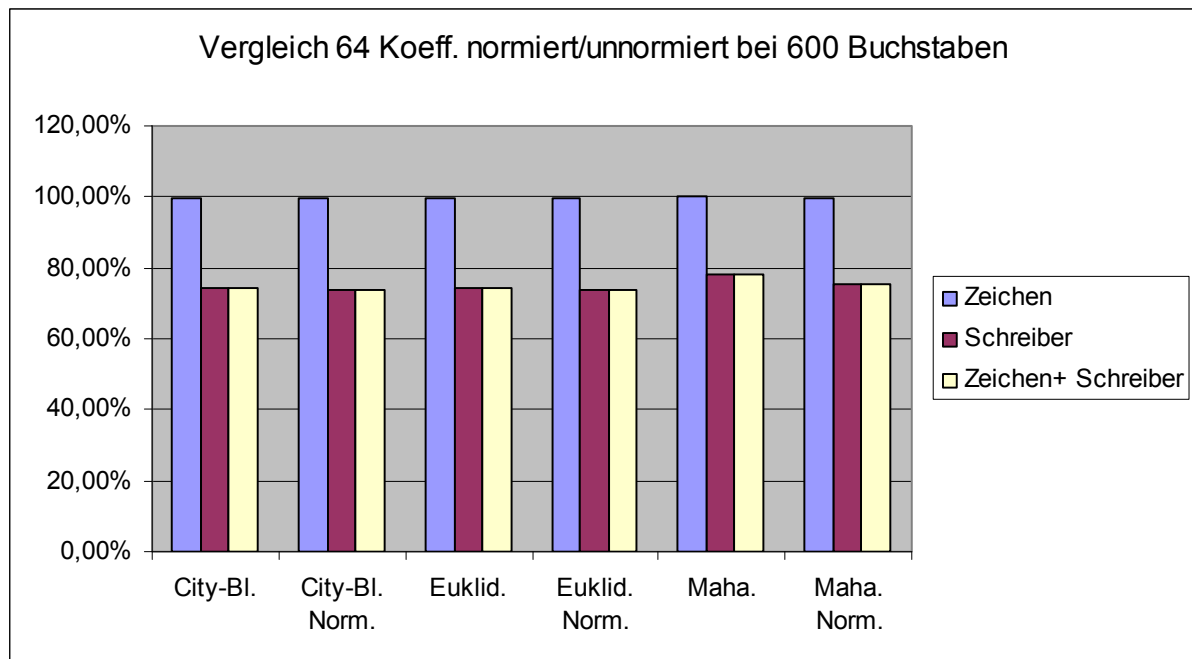
Tabelle 44: Ergebnisse Legendre-Vergleich City-Block 600 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,67%	99,67%	99,50%	99,00%	97,00%	44,17%
Schreiber	73,67%	72,33%	72,33%	71,00%	57,67%	14,67%
Zeichen+ Schreiber	73,67%	72,33%	72,33%	71,00%	57,33%	8,83%

Tabelle 45: Ergebnisse Legendre-Vergleich Euklid 600 Zeichen norm.

	64 Koeffiz.	32 Koeffiz.	16 Koeffiz.	8 Koeffiz.	4 Koeffiz.	2 Koeffiz.
Zeichen	99,83%	99,50%	99,50%	98,83%	94,33%	43,50%
Schreiber	75,50%	72,00%	67,33%	63,50%	50,50%	14,83%
Zeichen+ Schreiber	75,50%	72,00%	67,17%	63,33%	48,67%	8,50%

Tabelle 46: Ergebnisse Legendre-Vergleich Mahalanobis 600 Zeichen norm.



**Diagramm 31: Gegenüberstellung Ergebnisse 64 Legendre-Koeffizienten normiert/unnormiert**

In den Diagrammen 29 und 31 ist zu sehen, dass bei den Vergleichen mit dieser Methode eine Normierung der Koeffizienten nur sehr geringe Verschlechterungen der Ergebnisse erzeugt. Die, durch die Erhöhung der Schriftprobenanzahl hervorgerufene, Verschlechterung der Ergebnisse ist aber genau so ausgeprägt, wie bei den vorher betrachteten Vergleichsmethoden.

## 2.6.6 Ergebnisse Bild-Momente

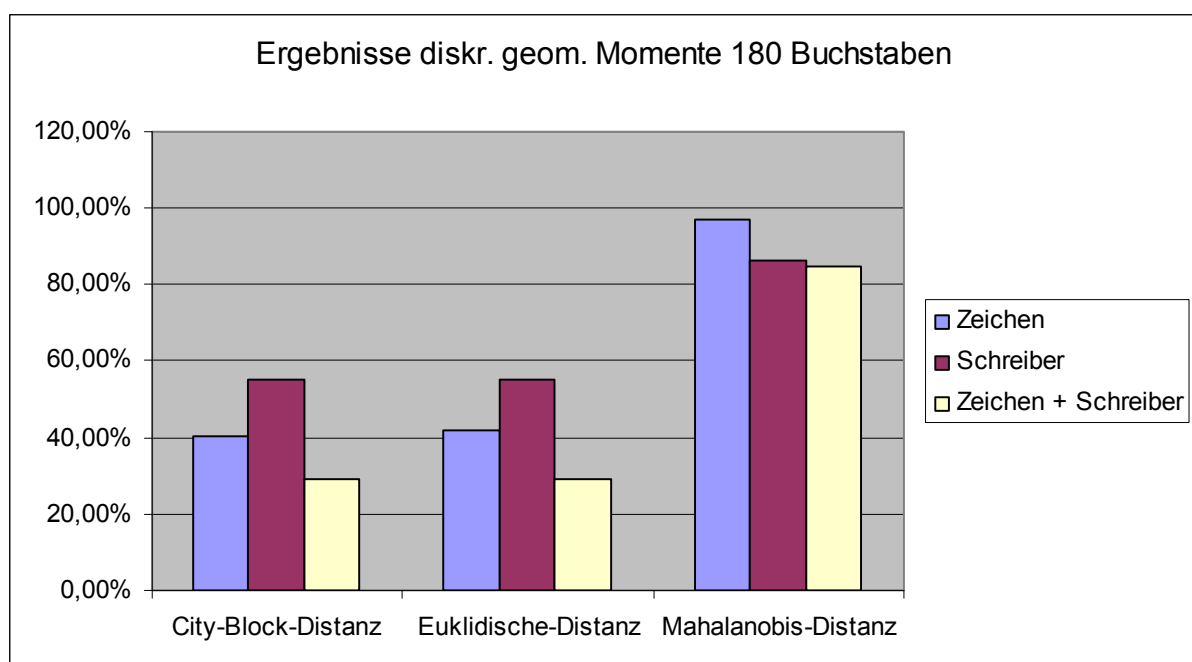
Die für die Schriftproben berechneten diskreten geometrischen, diskreten normierten und normierten zentralen Momente, sowie die Formmerkmale werden mit Hilfe der City-Block-, der Euklidischen- und der Mahalanobis-Distanz-Berechnung miteinander verglichen. Um eine Aussage über die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Anzahl der Schriftproben zu erhalten, werden die Vergleiche ein Mal mit 180 Zeichen und ein Mal mit 600 Zeichen durchgeführt.

Die Ergebnisse für 180 Zeichen sind in den Tabellen 47 bis 50 aufgeführt. Darin wird gezeigt, dass bei den diskreten geometrischen Momenten die City-Block-

und die Euklidische-Distanz ähnlich hohe Erkennungsraten liefern, während die Verwendung der Mahalanobis-Distanz zu sichtbaren Verbesserungen der Ergebnisse führt (Diagramm 32).

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	40,55%	41,67%	97,22%
Schreiber	55,00%	55,00%	86,11%
Zeichen + Schreiber	28,89%	28,89%	85,00%

Tabelle 47: Ergebnisse diskrete geom. Momente Vergleich 180 Zeichen

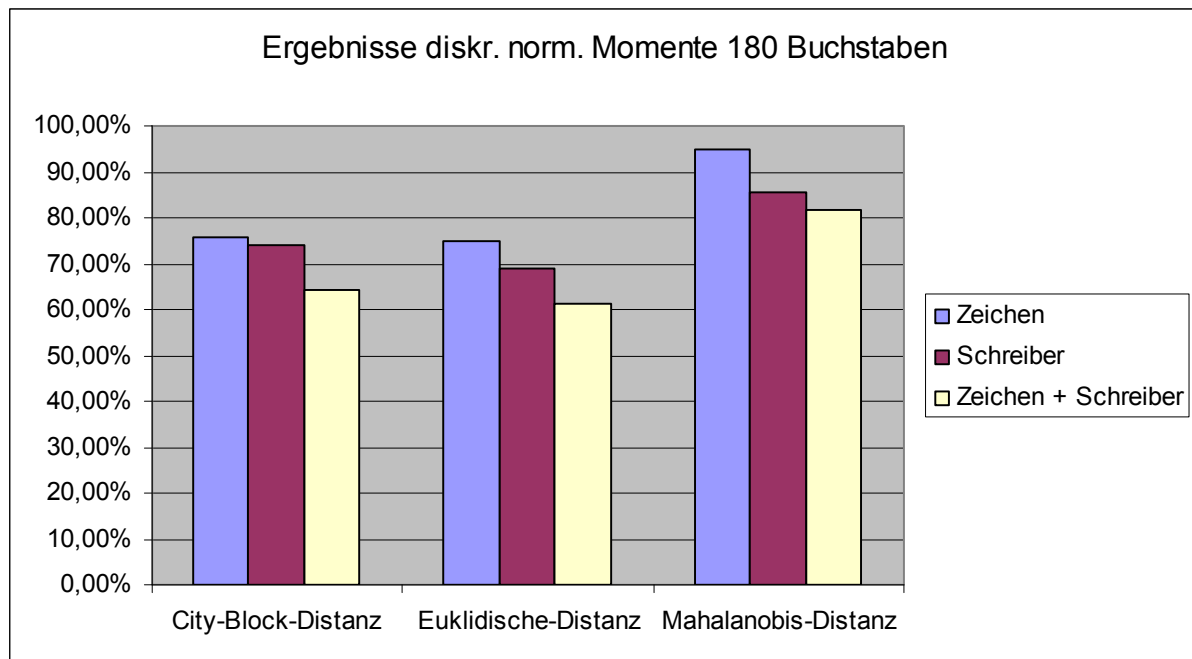


**Diagramm 32: Ergebnisse disk. geom. Momente 180 Buchstaben**

Durch das Normieren der Momente werden bei dem City-Block- und dem Euklidischen-Abstand höhere Erkennungsraten erzielt. Die Ergebnisse für die Mahalanobis-Distanz sinken dabei allerdings etwas ab.

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	75,56%	75,00%	95,00%
Schreiber	73,89%	68,89%	85,56%
Zeichen + Schreiber	64,44%	61,11%	81,67%

Tabelle 48: Ergebnisse diskrete norm. Momente Vergleich 180 Zeichen

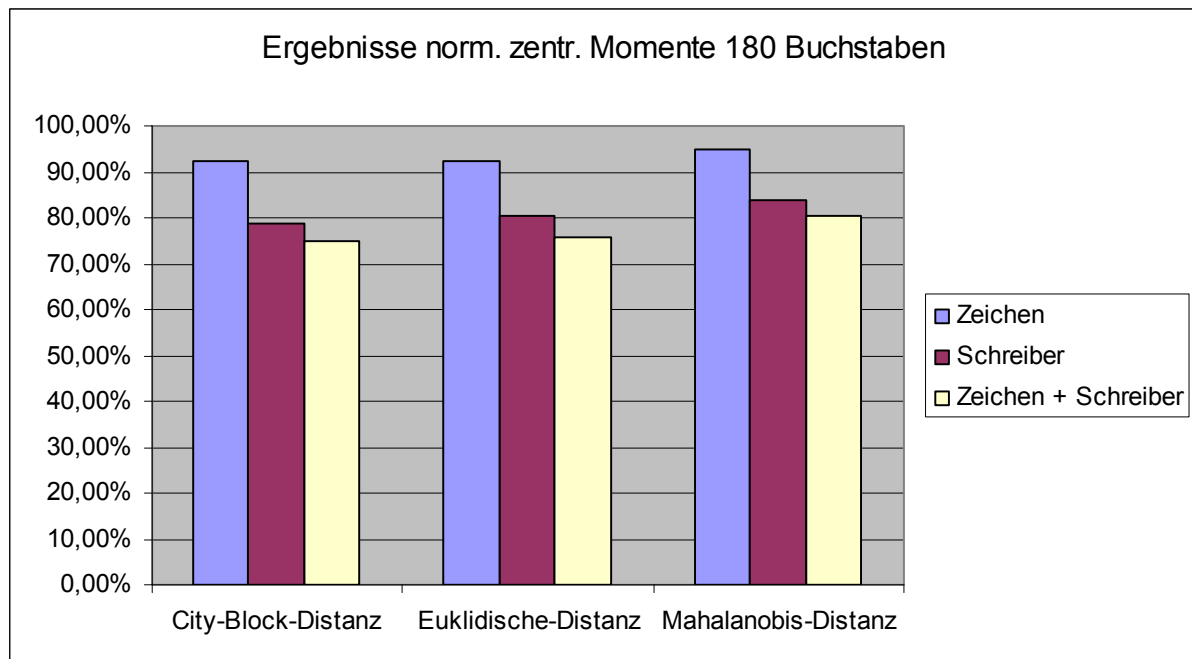


**Diagramm 33: Ergebnisse disktr. norm. Momente 180 Buchstaben**

Eine zusätzliche Zentrierung der Momente steigert die Raten der Erkennung bei Verwendung der City-Block- und der Euklidischen-Distanz nochmals, während die Werte für die Mahalanobis-Distanz weiter leicht sinken (Diagramm 34).

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	92,22%	92,22%	95,00%
Schreiber	78,89%	80,56%	83,89%
Zeichen + Schreiber	75,00%	75,56%	80,56%

**Tabelle 49: Ergebnisse normierte zentrale Momente Vergleich 180 Zeichen**

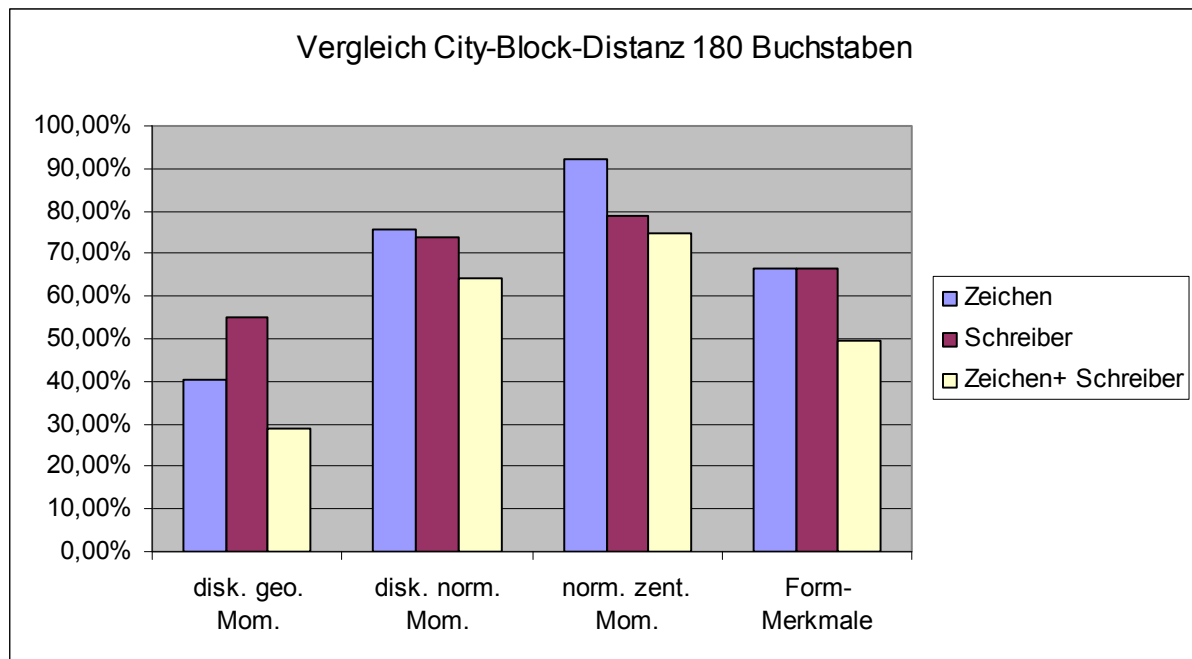


**Diagramm 34: Ergebnisse norm. zentr. Momente 180 Buchstaben**

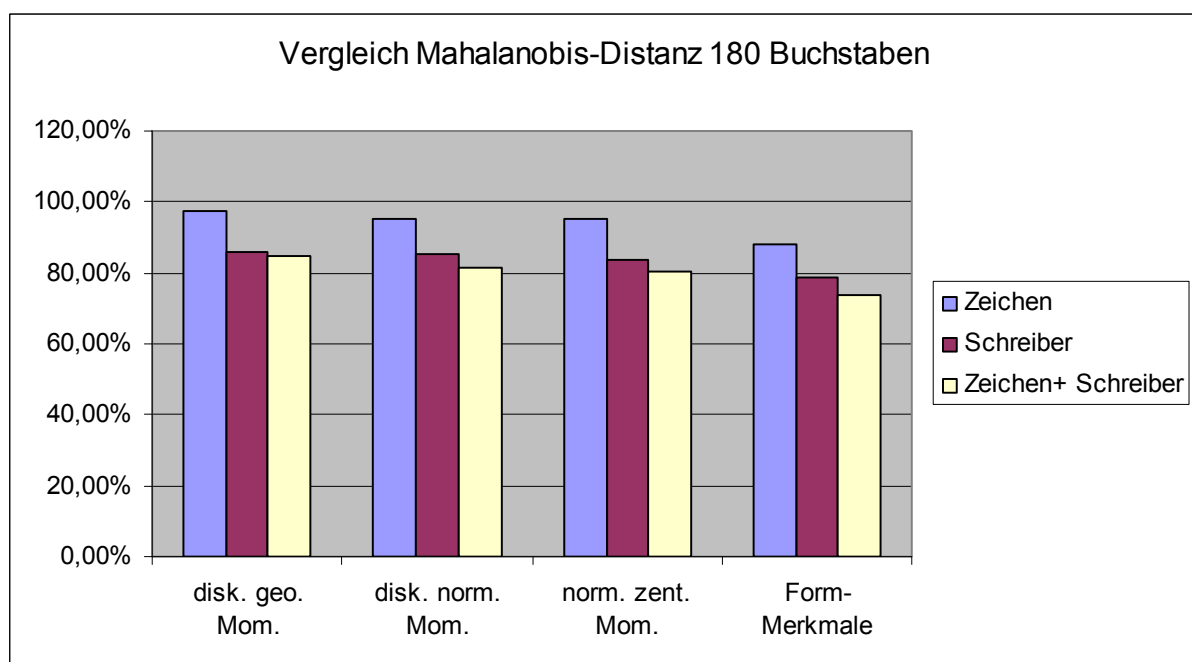
Bei den Formmerkmalen (Tabelle 50) liegen die Ergebnisse der City-Block-Distanz etwas über denen des Euklidischen-Abstandes. Die Mahalanobis-Distanz bringt aber wieder erhebliche Vorteile. Die Diagramme 35 und 36 zeigen die Ergebnisse der Momentarten und Formmerkmale für City-Block- und Mahalanobis-Distanz.

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	66,67%	62,78%	88,33%
Schreiber	66,67%	64,44%	78,89%
Zeichen + Schreiber	49,44%	45,00%	73,89%

Tabelle 50: Ergebnisse Formmerkmale Vergleich 180 Zeichen

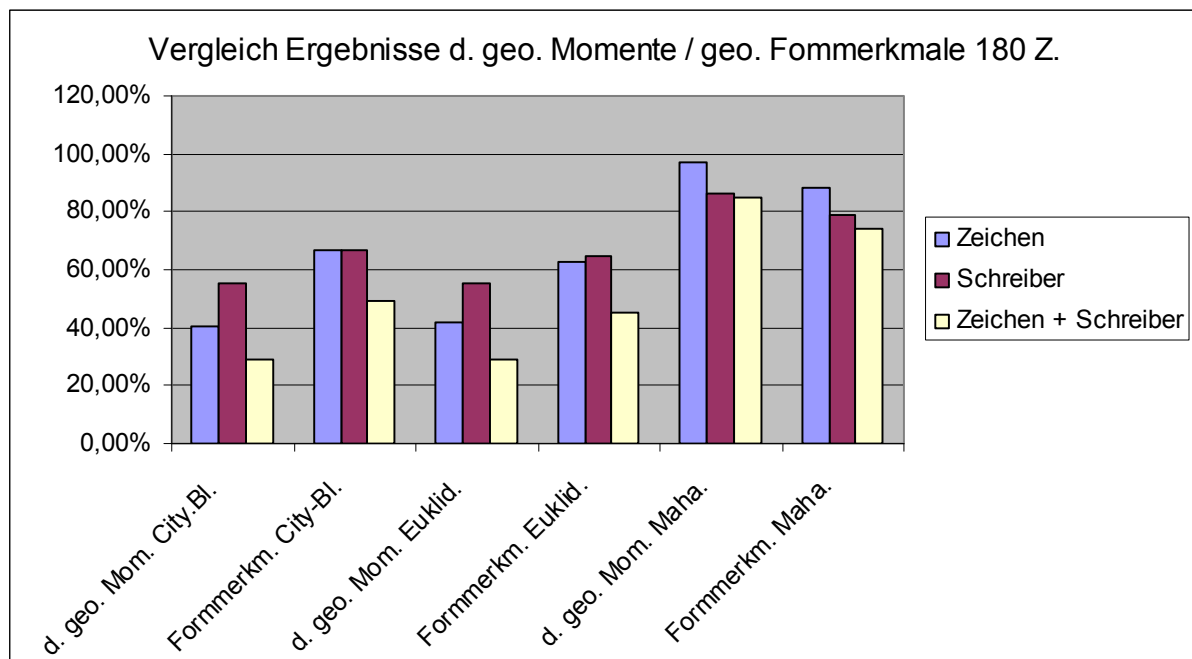


**Diagramm 35: Ergebnisse der Momentarten und Formmerkmale mit City-Block-Distanz**



**Diagramm 36: Ergebnisse der Momentarten und Formmerkmale mit Mahalanobis-Distanz**

Das Verwenden von geometrischen Formmerkmalen zur Schreibererkennung bringt mit dem City-Block- und dem Euklidischen-Abstand bessere Erkennungsraten, als der Vergleich über die disk. geom. Momente. Mit der Mahalanobis-Distanz sind die disk. geom. Momente aber im Vorteil (Diagramm 37).



**Diagramm 37: Vergleich Ergebnisse disk. geo. Momente / geo. Formmerkmale bei 180 Zeichen**

In dem nächsten Teil wird die Anzahl der zu vergleichenden Zeichen wieder auf 600 erhöht. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind in den Tabellen 51 bis 54 aufgeführt.

Allgemein führt das Anheben der Zeichenanzahl wieder zu deutlichen Verringerungen von den Erkennungsraten der Kategorien Schreiber und Zeichen+Schreiber. Die Auswirkungen auf die Anzahlen der erkannten Zeichen sind viel geringer.

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	40,00%	39,17%	93,33%
Schreiber	31,00%	30,00%	72,33%
Zeichen + Schreiber	21,17%	20,17%	71,50%

Tabelle 51: Ergebnisse diskrete geom. Momente Vergleich 600 Zeichen

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	77,17%	75,50%	93,17%
Schreiber	54,00%	50,00%	72,00%
Zeichen + Schreiber	48,50%	44,83%	69,83%

Tabelle 52: Ergebnisse diskrete norm. Momente Vergleich 600 Zeichen



	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	88,17%	88,83%	91,17%
Schreiber	60,83%	62,00%	66,50%
Zeichen + Schreiber	59,33%	60,17%	65,83%

Tabelle 53: Ergebnisse normierte zentrale Momente Vergleich 600 Zeichen

	City-Block-Distanz	Euklidische-Distanz	Mahalanobis-Distanz
Zeichen	60,17%	56,33%	85,50%
Schreiber	36,50%	34,67%	62,17%
Zeichen + Schreiber	30,50%	28,17%	58,83%

Tabelle 54: Ergebnisse Formmerkmale Vergleich 600 Zeichen

Die Darstellungen im Diagramm 38 zeigen die Abhängigkeit der Erkennungsraten der Kategorie Zeichen+Schreiber von der Anzahl der verwendeten Schriftproben. Bei allen untersuchten Distanz-Berechnungsarten ist eine Absenkung der erreichten Werte zu erkennen. Die besten Ergebnisse liefert der Mahalanobis-Abstand.

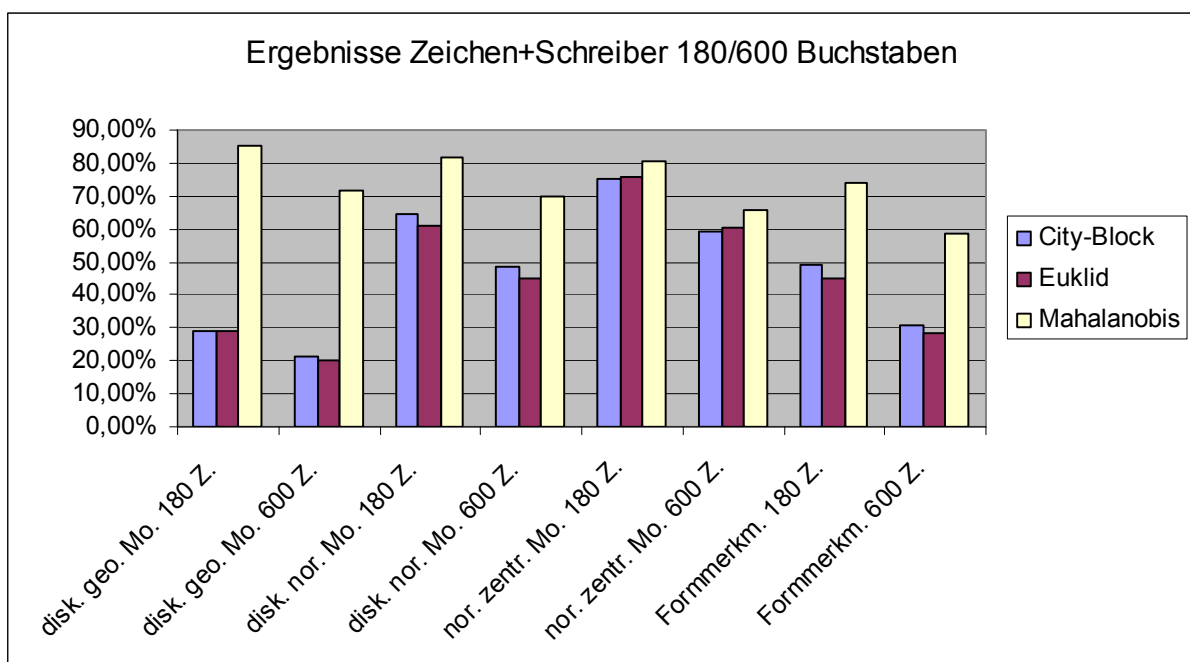


Diagramm 38: Vergleich Ergebnisse Zeichen+Schreiber 180/600 Buchstaben

## 2.6.7 Zusammenfassung

Alle hier untersuchten Lösungsansätze erzielen bei den erkannten Zeichen hohe Werte. Die Auswirkungen einer Normierung der Koeffizienten und einer Erhöhung der Schriftproben darauf sind sehr gering. Unterschiede gibt es allerdings bei den richtig zugeordneten Schreibern und der Kombination aus Zeichen und Schreibern. Da die eingelesenen Zeichen der Schriftproben unterschiedliche Größen besitzen, werden im Folgenden nur die Ergebnisse der Verfahren mit skalierungsinvarianten Merkmalen verglichen.

Bei 180 verwendeten Zeichen erreichen in diesen beiden Kategorien der Fourier-, der Legendre- und der Chebychev-Vergleich mit jeweils 64 Koeffizienten und Hilfe der Mahalanobis-Distanz die besten Ergebnisse (Diagramm 39).

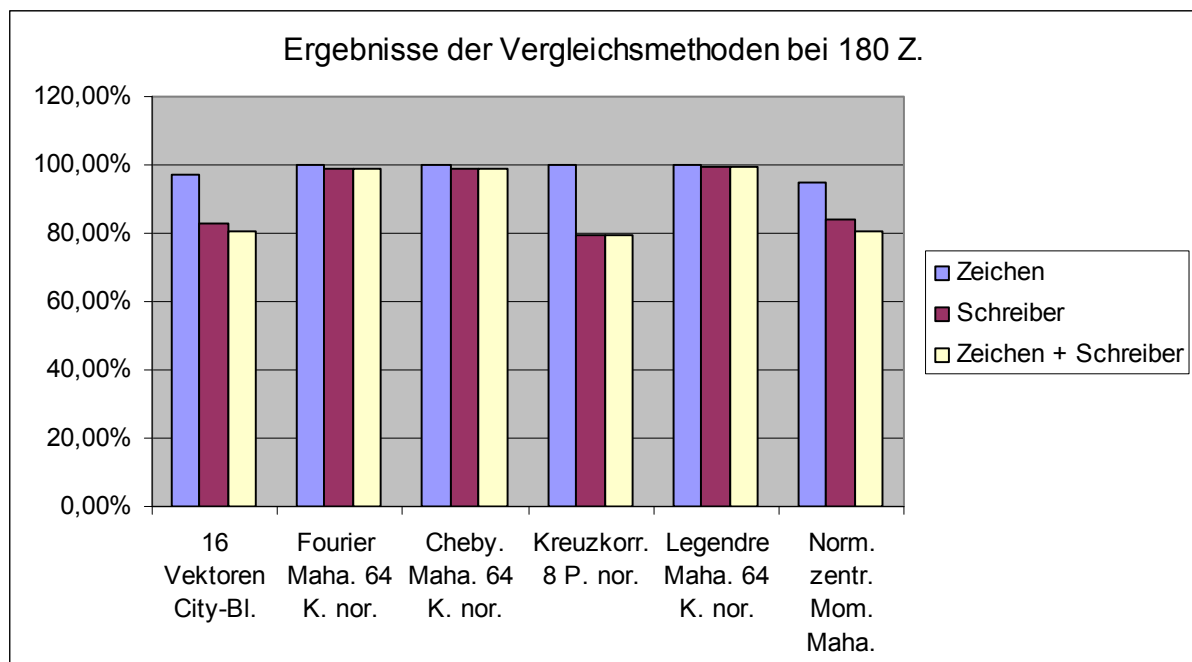
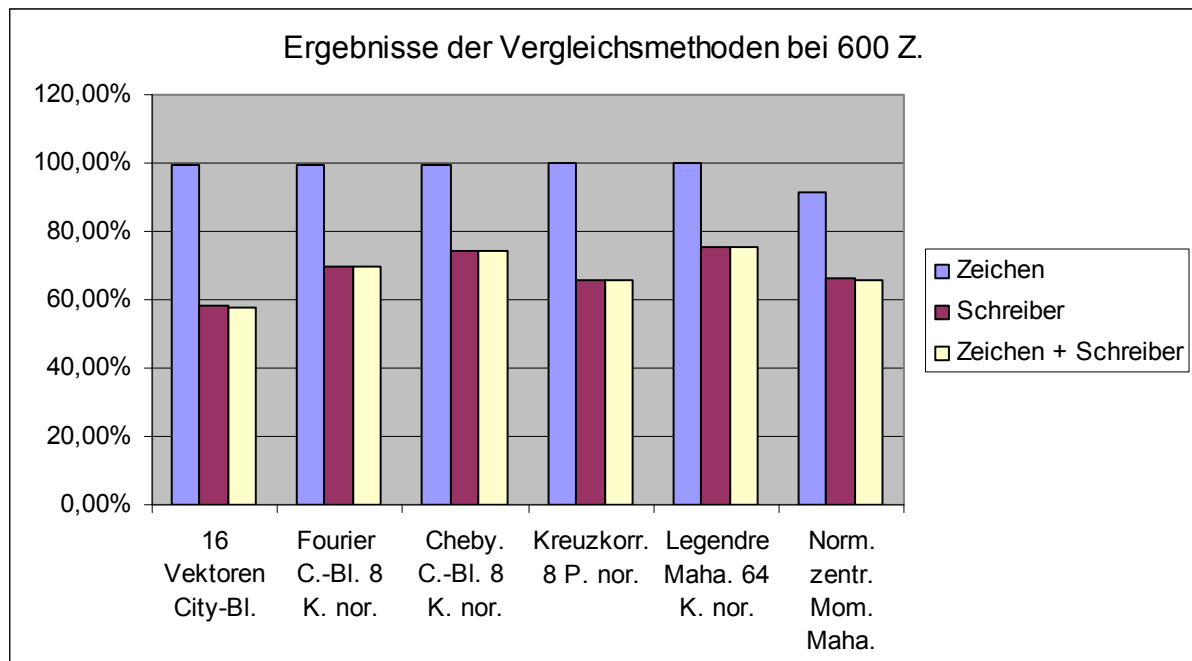


Diagramm 39: Übersicht der besten Ergebnisse bei 180 Zeichen, skalierungsinvariant

Die höchsten Erkennungsraten bei 600 Zeichen bringen der Legendre-Vergleich mit 64 Koeffizienten und dem Mahalanobis-Abstand, der Chebychev-Vergleich mit 8 Koeffizienten und der City-Block-Distanz, sowie der Vergleich von 8 Fourier-Koeffizienten mit dem City-Block-Abstand (Diagramm 40).



**Diagramm 40: Übersicht der besten Ergebnisse bei 600 Zeichen, skalierungsinvariant**

## Literaturverzeichnis

Templeman, J., Howe, A.: Microsoft Visual C++ .NET Schritt für Schritt. Microsoft Press, 2002.

Nischwitz, A., Fischer, M.; Haberäcker, P.: Computergrafik und Bildverarbeitung. 2. Auflage. Vieweg, Wiesbaden 2007.

Jähne, B.: Digitale Bildverarbeitung. 6. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg 2005.

Jaspersen, T., Krause, M., Potthast, A., Steinke, K.-H.: Vorhaben: Rationalisierung der Virtualisierung von botanischem Belegmaterial und deren Verwendung durch Prozessoptimierung und -automatisierung (Herbar Digital). Hannover 2006.

Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff.  
<http://sciweb.nybg.org/science2/IndexHerbariorum.asp>

TecChannel – Grundlagen: Mehr Sicherheit mit Biometrie.  
<http://www.tecchannel.de/sicherheit/grundlagen/402320/index9.html>

Schlapbach, A., Bunke, H.: Off-line Handwriting Identification Using HMM Based Recognizers, 2004.  
<http://www.iam.unibe.ch/~schlpbch/publications/SchBu04-001.pdf>

Henniger, O. et al.: Zurechenbarkeit von Aktionen in virtuellen Welten. Schlussbericht des ZAVIR-Projekts. Fraunhofer-Gesellschaft, 2004.  
<http://zavir.sit.fraunhofer.de/>

Wikipedia, die freie Enzyklopädie.  
<http://de.wikipedia.org>

Wolfram MathWorld, the web's most extensive mathematics resource.

<http://mathworld.wolfram.com>

OpenCV Library Wiki.

<http://opencvlibrary.sourceforge.net/>

Kilian, J.: Simple Image Analysis By Moments, Version 0.2, 2001.

<http://tech.groups.yahoo.com/group/OpenCV/files/Documentation/>

Berge, A.: Describing "shape" (feature extraction).

[handout-inf3300-2005-6.pdf](#)

<http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF3300/h05/undervisningsmateriale/>

Lang, B.: Skript Bildverarbeitung: Merkmalgewinnung und Klassifikation.

<http://www.ecs.fh-osnabrueck.de/15464.html>

Miene, A.: Bildverarbeitung 1, Vom Pixel zum Objekt.

[http://mlecture.uni-bremen.de/intern/ws2006\\_2007/fb03/vak-03-05-h-09\\_01/20070122/toc.htm](http://mlecture.uni-bremen.de/intern/ws2006_2007/fb03/vak-03-05-h-09_01/20070122/toc.htm)

Coen, G.: Eine neue Methode der Musterklassierung in der digitalen Bildverarbeitung.

<http://www.ndt.net/article/dgzfp04/papers/v33/v33.htm>